

“ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA PERFORACIÓN HORIZONTAL DIRIGIDA (PHD) VS SISTEMA DE ZANJA ABIERTA EN LA RENOVACIÓN DE REDES DE ASBESTO CEMENTO EN ALTAMIRA, CIUDAD DE MANAGUA, DEPARTAMENTO DE MANAGUA ”.

Proyecto de graduación para optar al título de
Ingeniero Civil

Elaborado por:

Tutor:

Br. Bryan Alexander
Siles Sánchez
Carnet: 2018-0851U

Br. Luis Adolfo
Valverde Aguilar
Carnet: 2010-35182

Br. Victoriano Ramón
Zelaya López
Carnet: 2019-0360N

Ing. Luis Gustavo
Espinoza

Marzo de 2026
Managua, Nicaragua



AVAL DEL TUTOR(A)

1. Datos del Estudiante

Nombre del estudiante: Bryan
Alexander Siles Sánchez

Programa académico: Ingeniería Civil

Carné: 2018-0851U

Nombre del estudiante: Luis Adolfo
Valverde Aguilar

Programa académico: Ingeniería Civil

Carné: 2010-35182

Nombre del estudiante: Victoriano
Ramon Zelaya López

Programa académico: Ingeniería Civil

Carné: 2019-03660N

2. Datos del Tutor(a) Académico(a)

Nombre del tutor(a): Luis Gustavo
Espinoza

Área de conocimiento o CUR:
Dirección de Área de Conocimiento
de Arquitectura y Construcción

Correo institucional:
Luis.espinoza@uni.edu.ni

3. Datos del Asesor(a) Académico(a)

Nombre del asesor(a) académico(a)

Área de conocimiento o CUR

Correo institucional:



Universidad
Nacional de
Ingeniería

Declaración del Tutor(a)

Yo, en calidad de tutor(a) certifico que he revisado la propuesta presentada por el estudiante descrito en este formulario y:

- ☒ Avalo la propuesta para su desarrollo.
☐ No avalo la propuesta (requiere ajustes).

Observaciones (si aplica):

DOCUMENTO LISTO PARA PREDEFENSA

Firma del Tutor(a):

Fecha: __02__ / __03__ / 2026__



Victoriano Ramon Zelaya López
Bryan Alexander Siles Sánchez
Luis Adolfo Valverde Aguilar
Sus manos. –

Estimado (s) Bachiller (es), reciba (n) cordiales saludos.

En el marco de la **Estrategia de Culminación de Estudios 2025 (Plan Remedial)** se le(s) comunica que el Tema y objetivos de **Proyecto de Graduación** titulado **"ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA PERFORACIÓN HORIZONTAL DIRIGIDA (PHD) VS SISTEMA DE ZANJA ABIERTA EN LA RENOVACIÓN DE REDES DE ASBESTO CEMENTO EN ALTAMIRA, CIUDAD DE MANAGUA, DEPARTAMENTO DE MANAGUA"**. Ha sido aprobado y se le ha asignado como Tutor(a) al (a la) **Ing. Luis Gustavo Espinoza González**

La ejecución, entrega y defensa del **Proyecto de Graduación** tendrá una duración máxima de 05 meses, a partir de la fecha de aprobación de la Dirección, siendo el periodo establecido del **01 de diciembre del 2025 al 30 de abril del 2026**.

Por lo tanto, ud (s) deberá(n) cumplir en el periodo mencionado con lo siguiente:

- a) Desarrollar el Cronograma de Ejecución y realizar las actividades en correspondencia con el mismo, en el cual se tienen que programar los periodos de encuentros con el tutor, pre defensa y defensa.
- b) Presentar al tutor **semanalmente** los avances obtenidos en el proceso de ejecución conforme el cronograma.
- c) Cumplir con al menos el 90% de asistencia en los encuentros programados con el tutor asignado.
- d) Realizar al menos una pre defensa del Trabajo Monográfico en versión borrador, según el cronograma establecido en el marco de la **Estrategia de Culminación de Estudios 2025 (Plan Remedial)**, con el objetivo de garantizar en todos los aspectos el éxito de la defensa.

Igualmente, se le(s) recuerda que no hay prórroga para el cumplimiento de este proceso y que a través de la firma de la carta compromiso reconoce que esta es la última oportunidad para realizar la culminación de estudios.

Sin más a que hacer referencia y deseándole éxito en su **Proyecto de Graduación** para optar al título de **Ingeniero Civil**, se despide.

Atentamente,


Ma. Marcela Carolina Galán Galtán
Directora

Cc. Expediente Culminación de Estudios

Contenido

I.GENERALIDADES	1
1.Introduccion	1
2 Antecedentes	2
3. Justificación.....	3
4. Objetivos	4
4.1. General.....	4
4.2. Específicos	4
II. MARCO TEÓRICO	5
2.1. Marco Legal y Normativo en Nicaragua.....	5
2.2. La Problemática del Asbesto Cemento (AC)	5
2.3. Polietileno de Alta Densidad (HDPE): El Material del Siglo XXI.....	5
2.4. Fundamentos de la Perforación Horizontal Dirigida (PHD).....	6
2.5 Estudio técnico	6
2.5.1 Tamaño del proyecto	6
2.5.2 Localización del proyecto	7
2.5.3 Redes de Asbesto Cemento (AC).....	7
2.5.4 Sistema tradicional zanja abiertas	8
2.5.5. Sistema de perforación Horizontal dirigida (PHD)	8
2.5.5 Ingeniería del proyecto	9
2.6 Estudio económico costos – beneficios.....	11
2.6.1 Costos de inversión de proyecto	11
2.6.2 Costos de operación y mantenimiento.....	11
2.6.3 Costos directos	12
2.6.4 Tarifa de agua.....	12
2.6.5 Beneficios	12
2.6.6 Flujo de caja.....	13
2.7 Evaluación de la alternativa propuesta.....	13
2.7.1 Evaluación financiera.....	13
Figura N°1. Tasa Interna de Retorno	14
2.7.2 Evaluación económica	15
III- METODOLOGIA DE INSTALACION DE TUBERIA DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD USANDO EL SISTEMA DE PERFORACION HORIZONTAL DIRIGIDA.....	16

3.1 Etapas del sistema de perforación horizontal dirigida:	16
3.2 Perforación piloto en PHD (HDD):.....	16
3.2.2 Componentes principales utilizados en la perforación piloto	17
3.2.3 Etapas del proceso de perforación piloto	20
3.2.4 Parámetros técnicos clave en la perforación piloto.....	24
3.2.5 Factores geotécnicos que influyen en la perforación piloto.....	26
3.3 Escareado (Reaming).....	27
3.3.2 Herramientas principales	28
3.3.3 Fases del Escareado en Perforación Horizontal Dirigida (HDD).....	29
3.3.5 Ajuste de Densidad y viscosidad del lodo	31
3.3 Introducción de la tubería (pullback).....	31
3.4.6 Resultados esperados	33
3.6 Soldaduras de Termofusión y Electrofusión en Tuberías de Polietileno de Alta Densidad (PEAD)	34
3.6.1 Principios moleculares de la soldadura en PEAD	34
3.6.2 Soldadura por Termofusión (Butt Fusion).....	35
3.6.3 Soldadura por Electro fusión.....	38
IV. INGENIERIA DEL PROYECTO	44
4.1 Definición del servicio	44
4.2 Descripción de la población objetivo	44
4.3 Beneficios esperados del proyecto	46
4.4 Estudio técnico	46
4.4.1. Localización optima.....	46
4.4.2 Macro localización	46
4.4.3. Micro localización.....	47
4.4.4. Tamaño óptimo	48
4.5 Ingeniería del Proyecto	48
4.5.1 Calidad de agua de fuente Asososca.....	49
4.5.3 Costo de operación	49
4.5.4 Tarifa	49
4.5.6 Costos de funcionamiento	51
4.6 Estudio económico	51
4.6.1 Período horizonte del proyecto	52

4.6.2 Tipo de moneda	52
4.6.3 Inversión.....	52
4.6.4 Activos fijos	53
4.6.5 Activos diferidos.....	57
4.7 Costos de operación.....	57
4.8 Ingresos	58
4.9 Análisis de beneficio.....	60
4.10 Tasa mínima atractiva de rendimiento (TREMA)	62
4.11 Flujo de caja del proyecto a precios económicos	62
4.12 Evaluación socio-económico del proyecto.....	65
4.13 Precios unitarios alternativa zanja abierta.....	68
4.14 Precios unitarios alternativa perforación horizontal dirigida	74
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	80
Conclusiones	80
Recomendaciones	81
BIBLIOGRAFIA.....	82

I.GENERALIDADES

1.Introduccion.

El Gobierno de Nicaragua, a través de la Empresa Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados Sanitarios (ENACAL), ha desarrollado proyectos de modernización y rehabilitación de los sistemas de agua potable con el objetivo de mejorar la calidad del servicio y la eficiencia operativa de las redes de distribución, particularmente en zonas urbanas de la ciudad de Managua. No obstante, la ejecución de obras de renovación mediante métodos tradicionales de excavación a cielo abierto genera impactos significativos en el entorno social, ambiental, económico y en la movilidad urbana, lo que representa una limitante técnica y operativa en áreas consolidadas.

En este contexto, la **Perforación Horizontal Dirigida (PHD)** se presenta como una alternativa tecnológica viable para la renovación de redes de acueducto, al tratarse de un método constructivo sin zanja que permite la instalación subterránea de tuberías mediante perforación controlada, minimizando la afectación superficial. Esta técnica posibilita la sustitución de tuberías de asbesto cemento por tuberías de **polietileno de alta densidad (HDPE)**, material que garantiza condiciones adecuadas de calidad, durabilidad y seguridad sanitaria.

La aplicación de la PHD contribuye a la modernización y ordenamiento de las redes de distribución, facilita la actualización de la información técnica del sistema y permite un mayor control del agua no contabilizada, reduciendo pérdidas por fugas y conexiones irregulares. Asimismo, disminuye los tiempos de ejecución y los impactos sociales y ambientales en comparación con el método tradicional de zanja abierta.

El presente trabajo desarrolla un análisis comparativo entre el sistema convencional de excavación a cielo abierto y el método de Perforación Horizontal Dirigida, evaluando aspectos técnicos, constructivos, económicos y de impacto urbano. Como caso de estudio, se analiza la renovación de redes de acueducto en el sector de Altamira, Managua, con el fin de determinar la viabilidad técnica y la conveniencia del uso de la PHD como alternativa para proyectos de sustitución de tuberías en entornos urbanos.

2 Antecedentes

La infraestructura de distribución de agua potable en sector de Altamira enfrenta lo que Arias (2012) define como un "problema práctico", es decir, una situación negativa que requiere acción para su solución. Esta problemática se caracteriza por la predominancia de redes de asbesto cemento instaladas hace décadas, las cuales han alcanzado el final de su vida útil. El deterioro de este material no solo compromete la sostenibilidad hídrica debido a las altas tasas de Agua No Contabilizada (ANC) por fugas y rupturas ante movimientos sísmicos o picos de presión, sino que también plantea un desafío de salud pública latente. Aunque el riesgo principal del asbesto se asocia a la inhalación, la obsolescencia de estas tuberías impulsa la urgencia local de renovarlas para garantizar la seguridad sanitaria y la eficiencia operativa del servicio de agua potable.

Históricamente, la renovación de estas redes en entornos urbanos de Managua se ha ejecutado mediante el método de zanja abierta, un sistema que, aunque técnicamente probado, genera severas externalidades negativas en zonas de alta densidad poblacional. Este procedimiento implica la excavación de zanjas a lo largo de toda la ruta, causando interrupciones críticas en el tráfico vehicular, restricción de acceso a comercios y viviendas, así como contaminación acústica y por polvo. Además de estos impactos sociales, el método tradicional conlleva altos costos de restauración de superficies (pavimento y aceras) y eleva los riesgos operacionales por daños a otras redes subterráneas existentes (fibra óptica, electricidad), evidenciando la necesidad de buscar alternativas que mitiguen estos "problemas prácticos" de índole social y económica.

Como respuesta a las limitaciones de la excavación convencional, han surgido las Tecnologías Sin Zanja, posicionando a la Perforación Horizontal Dirigida (PHD o HDD por sus siglas en inglés) como una solución de vanguardia para la instalación y rehabilitación de infraestructura

3. Justificación.

Managua la ciudad con el mayor número de habitantes, muchos de sus sectores siguen haciendo uso de redes de distribución de tuberías de asbesto cemento y de manera específica el sector de Altamira, en el presente estudio se justifica la urgencia técnica y operativa de reemplazar la red de distribución de agua de asbesto cemento (AC) en Altamira. La obsolescencia de este material compromete la calidad del servicio, la eficiencia hídrica y la sostenibilidad de la infraestructura. La justificación central es validar, mediante un análisis riguroso, que la Perforación Horizontal Dirigida (PHD) es una alternativa superior y potencialmente más rentable que el método tradicional de Zanja Abierta (ZA) en un entorno urbano consolidado.

- Las tuberías de AC que datan de muchos años han superado su vida útil, lo que resulta en una alta incidencia de fallas, roturas y micro fisuras. Esto se traduce en significativas Pérdidas de Agua No Contabilizada (PANC), afectando directamente la eficiencia del sistema y la disponibilidad de agua para los usuarios.
- Riesgo Operacional y de Mantenimiento: La fragilidad del AC dificulta las labores de reparación, elevando los costos de mantenimiento correctivo. Cualquier manipulación o vibración puede provocar fallas en tramos adyacentes, creando un ciclo vicioso de reparaciones.
- Vida Útil Superior de la Tubería Nueva: El estudio permitirá la instalación de materiales modernos como el Polietileno de Alta Densidad (HDPE), que ofrecen una vida útil de hasta 100 años y una resistencia superior a la corrosión y la presión, asegurando la inversión a largo plazo.
- Fundamentación para la Comparación de Métodos en Contexto Urbano la elección del método de instalación es crítica en una zona densamente poblada como Altamira. La justificación se centra en mitigar los costos y riesgos inherentes al método tradicional.

4. Objetivos

4.1. General

Realizar el estudio de prefactibilidad para la implementación de la perforación horizontal dirigida (PHD) vs sistema de zanja abierta en la renovación de redes de asbesto cemento en Altamira, Ciudad de Managua, Departamento de Managua.

4.2. Específicos

- Conocer la demanda y las condiciones socioeconómicas de la población, mediante la elaboración de un estudio de mercado en la implementación del sistema PHD.
- Realizar un análisis técnico comparativo detallado de los procedimientos constructivos, requerimientos de maquinaria, la calidad de la instalación (incluyendo durabilidad y riesgo de fugas), y las condiciones sociales de la población del método PHD vs sistema a zanja abierta.
- Determinar el análisis económico de la implementación de la metodología PHD, para un proyecto tipo de renovación de red vs sistema a zanja abierta en condiciones de operación similares en Altamira, Managua.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Marco Legal y Normativo en Nicaragua

Cualquier intervención en la red de Managua debe alinearse con el marco regulatorio vigente:

- Ley No. 274 (Ley Básica de ENACAL): Define las competencias de la empresa estatal en la administración de redes.
- Norma NTON 09 003-99: Establece los criterios de diseño para sistemas de agua potable en Nicaragua.
- Política de Sustitución de Asbesto Cemento: Basada en el principio de precaución de la OMS/MINSA, que prohíbe el uso de fibras de asbesto en nuevas infraestructuras por riesgos a la salud ocupacional y obsolescencia técnica.

2.2. La Problemática del Asbesto Cemento (AC)

El AC fue el estándar de oro en los años 70, pero hoy representa un desafío:

- Fragilidad Estructural: Bajo la actividad sísmica de Managua, las tuberías de AC sufren fracturas longitudinales.
- Agua No Contabilizada (ANC): Las juntas de AC tienden a fallar por vibraciones del tráfico pesado en sectores como Altamira, causando fugas invisibles que elevan el costo operativo de ENACAL.

2.3. Polietileno de Alta Densidad (HDPE): El Material del Siglo XXI

El HDPE es el material predilecto para la tecnología Sin Zanja (Trenchless):

- Resistencia a la Tracción: A diferencia del PVC, el HDPE puede ser "halado" a través de un túnel perforado sin romperse.

- Termofusión: Las uniones se realizan mediante calor, creando una tubería continua y monolítica. Según la norma ASTM D3261, una unión termofusionada es más fuerte que el tubo mismo.
- Rugosidad (Coeficiente de Hazen-Williams): El HDPE tiene un coeficiente $C_H \approx 150$, lo que reduce la fricción y mejora la presión del agua en Altamira.

2.4. Fundamentos de la Perforación Horizontal Dirigida (PHD)

La PHD se basa en tres pilares de la ingeniería mecánica y civil:

- Mecánica de Suelos: Uso de bentonita (fluido de perforación) para mantener la estabilidad del pozo mediante una presión hidrostática controlada.
- Localización Electromagnética: Uso de ondas de radio (kHz) para conocer en tiempo real la profundidad y el "pitch" (inclinación) de la cabeza de perforación.
- Radio de Curvatura: Cálculo matemático necesario para asegurar que la tubería no se doble más allá de su límite elástico durante la instalación.

2.5 Estudio técnico

El estudio técnico comprende “la identificación y análisis de las alternativas constructivas, los criterios de diseño, la disponibilidad de recursos y las condiciones operativas, con el fin de seleccionar la solución técnica más adecuada y justificar su viabilidad

2.5.1 Tamaño del proyecto

El tamaño del proyecto, expresa la capacidad productiva o de servicio que se establece en función de la demanda proyectada, las disponibilidades técnicas y los recursos necesarios para garantizar la operación eficiente del proyecto, MIFIC (2012)

2.5.2 Localización del proyecto

Es el proceso que permite identificar y seleccionar cuál es el sitio idóneo para su implantación, incurriendo en costos mínimos y en mejores facilidades de acceso a recursos, equipo, etc.

2.5.2.1 Macro localización

La macro localización de un proyecto consiste en decidir la región más ventajosa donde se ubicará una empresa o negocio; describe la zona geográfica general en la que se va a encontrar un proyecto. Las ciudades y las regiones surgen a través de la simbiosis de beneficios que se generan a partir de la agrupación de empresas y personas.

- Micro localización: es la ubicación específica, dentro de una zona macro de mayor alcance, en donde se asentará definitivamente una empresa o proyecto. Hay un dicho que dice que las tres consideraciones más importantes en los negocios son la ubicación, la ubicación y la ubicación.

2.5.3 Redes de Asbesto Cemento (AC)

- Uso de redes de asbesto cemento: En Nicaragua, el uso de redes de asbesto-cemento se define actualmente bajo una política de sustitución progresiva y restricción técnica. Aunque muchas ciudades aún conservan tuberías de este material instaladas en décadas pasadas, la normativa y los proyectos de infraestructura modernos prohíben su nueva instalación.
- Riesgos de las redes AC de salud: La inhalación de estas fibras está directamente vinculada con enfermedades graves como la asbestosis (cicatrización del tejido pulmonar), cáncer de pulmón y mesotelioma (cáncer en el revestimiento del pulmón).
- Organizaciones internacionales como la OMS y estudios locales indican que la evidencia de cáncer gástrico por ingestión de asbesto es baja o no concluyente. Sin embargo, el MINSA y la Autoridad Nacional del Agua (ANA) aplican el principio de

precaución, promoviendo la sustitución total del material para evitar cualquier riesgo acumulativo.

- Riesgos operativos: El mayor riesgo ocurre durante las reparaciones. Cuando se rompe una tubería de asbesto, el personal debe seguir protocolos de seguridad específicos para evitar que las fibras se dispersen. El desgaste del material no solo afecta la salud, sino que degrada la presión del sistema y aumenta la pérdida de agua potable por filtraciones.

2.5.4 Sistema tradicional zanja abiertas

Es la metodología convencional y más utilizada para la instalación o reemplazo de tuberías. Consiste en la excavación de una zanja a lo largo del trazado de la tubería, la remoción del material existente, la instalación de la nueva tubería, y finalmente el relleno y compactación de la zanja, incluyendo la reposición del pavimento.

- Ventajas del sistema de zanja abiertas: Simplicidad, bajo costo inicial en áreas rurales o no congestionadas, y acceso directo para inspección visual.
- Desventajas (Contexto Urbano): Impacto social y económico: Interrupción del tráfico vehicular y peatonal, daño a la infraestructura superficial (pavimento, jardines, etc.), y generación de ruido y polvo. Tiempos de ejecución largos y dependientes de la reposición de la superficie. Costos indirectos elevados por concepto de reposición de pavimento y gestión del tráfico.

2.5.5. Sistema de perforación Horizontal dirigida (PHD)

Es una tecnología de construcción avanzada que permite la instalación de tuberías, conductos y cables subterráneos sin necesidad de excavar zanjas continuas en la superficie

El desarrollo y la rápida adopción de las Tecnologías Sin Zanja (TSZ), conocidas internacionalmente como Trinchas Tecnología o métodos, representan una de las innovaciones más significativas en la ingeniería civil y de infraestructura subterránea

en las últimas décadas. El sistema de perforación horizontal dirigida será tema de estudio en este documento de investigación.

2.5.5 Ingeniería del proyecto

La ingeniería de proyectos es aquella etapa en la que se definen los recursos necesarios para la ejecución de planes o tareas: máquinas y equipos, lugar de implantación, tareas para el suministro de insumos, recursos humanos, obras complementarias, dispositivo de protección ambiental, entre otros.

2.5.5.1 Sistema de abastecimiento de agua potable

- Redes de agua potable: son infraestructuras hidráulicas formadas por un conjunto de componentes interconectados cuya función principal es llevar agua limpia, segura y en cantidad suficiente a una comunidad. Estas redes deben operar bajo presiones adecuadas, cumplir normas de calidad del agua y garantizar la continuidad del servicio.
- Clasificación redes agua potable: Las redes de agua potable pueden clasificarse bajo diversos criterios técnicos, organizándose principalmente según su función dentro del sistema, la configuración de la red, el régimen de presión, el material de la tubería y su localización.
- Asimismo, existen clasificaciones adicionales que consideran el nivel de sectorización hidráulica, la continuidad del servicio y el diámetro de las tuberías, factores que en conjunto permiten definir la operatividad y el diseño de la infraestructura hídrica.
- Clasificación según su función: Dentro de un sistema hidráulico, las tuberías se clasifican según su función específica en cuatro niveles principales: la línea de aducción o conducción, la línea de distribución primaria, la línea de distribución secundaria y las líneas terciarias o acometidas domiciliarias.

- Líneas de aducción o conducción: Su principal función es el transporte de agua desde la fuente (pozos, ríos, lagos, embalses) hasta la planta de tratamiento, o desde esta hacia los tanques de almacenamiento. Son tuberías de gran diámetro y generalmente largas, cumpliendo normas específicas (AWWA C150, C151, C200, M11).
- Líneas de distribución primaria: Las líneas de distribución primaria, definidas técnicamente en las normativas AWWA M31 y RAS como "red primaria", tienen la función estratégica de conducir el agua desde los tanques de almacenamiento hacia los distintos sectores de la ciudad para asegurar el abastecimiento general.
- Líneas de distribución secundaria: Las líneas de distribución secundaria tienen la función principal de distribuir el agua dentro de barrios o zonas específicas. Su diseño y operación están regidos por normativas de diámetros mínimos, destacando los criterios de la AWWA, que establece un diámetro mayor o igual a 6 pulgadas (152 mm), y el reglamento RAS, que exige un mínimo de 75 mm para este tipo de redes.
- Asimismo, su implementación debe estar alineada con la normativa NTON, la cual define los diámetros finales en función de la demanda mínima de la zona y la presión residual requerida para el servicio.
- Líneas terciarias o acometidas domiciliarias: Consisten en tuberías de menor diámetro encargadas de conectar el sistema de distribución directamente con las viviendas o usuarios individuales. Su diseño y materiales están estipulados bajo los estándares de la norma AWWA M23 y las normas ISO 4427, las cuales regulan específicamente los requisitos para el uso de tuberías plásticas en estas conexiones.
- Materiales comunes para sistemas de tuvieran agua potable Para asegurar un suministro eficiente y seguro para el consumo humano, las redes de agua potable utilizan materiales resistentes y duraderos que cumplen con rigurosos estándares internacionales. Entre las opciones más utilizadas se encuentran los polímeros como el PVC (regulado por AWWA C900/C905 e ISO 1452) y el HDPE (bajo AWWA C906 e ISO 4427).

- Así como metales de alta resistencia como el hierro dúctil (AWWA C150/C151) y el acero (AWWA C200). También se emplea el concreto reforzado (ASTM C76) y la fibra de vidrio o PRFV (ASTM D3517) para requerimientos específicos, mientras que el uso de asbesto-cemento se considera actualmente una tecnología obsoleta y restringida a regulaciones antiguas como la ISO 160.
- Aspectos organizacionales y legales: Las características de una estructura organizacional definen los roles y las relaciones entre los miembros del proyecto, así como entre los proyectos. Estas relaciones están determinadas por la autoridad, las líneas de comunicación, la coordinación, la supervisión y las responsabilidades
- Como su nombre lo indica hacen referencia a elementos normativos, jurídicos o legales. Básicamente, son los trámites o procesos que se deben realizar para obtener los permisos o documentos necesarios para la debida ejecución del proyecto.

2.6 Estudio económico costos – beneficios

El análisis costo-beneficio, es una evaluación socioeconómica del programa o proyecto a nivel de prefactibilidad, y consistirá en un procedimiento sistemático que valora los costos y beneficios de un proyecto desde el punto de vista de la sociedad con el fin de determinar si el proyecto contribuye al bienestar económico.

2.6.1 Costos de inversión de proyecto

Costos de inversión, llamados también costos preoperativos” comprenden todas las erogaciones realizadas desde la concepción del proyecto hasta justo antes de su puesta en marcha: estudios de factibilidad, terrenos, equipamiento, instalaciones, obras civiles, capital de trabajo inicial, entre otros.

2.6.2 Costos de operación y mantenimiento

Son todos aquellos que se dan desde la puesta en marcha del proyecto hasta el final de su vida útil. Aquí se tienen los siguientes: costos de producción (sueldos y salarios

del personal, insumos, etc.), gastos de mercadotecnia, gastos administrativos y generales, gastos de la gerencia del proyecto, gastos financieros,

2.6.3 Costos directos

Los costos directos son todos los gastos en los que incurre la empresa y que de manera inequívoca se usan para la manufactura del producto o la entrega del servicio, una de la característica más representativa de los costos directos es que estos se pueden individualizar con exactitud por lo que se puede determinar cuánto dinero se necesita para producirlo.

2.6.4 Tarifa de agua

Precio unitario fijado por las autoridades para los servicios públicos realizados a su cargo, la ecuación utilizada es la siguiente:

Ecuación N°1.
$$T = CT / CPA$$

Donde:

T: Tarifa

CT: costos totales anual

CPA: Consumo promedio anual.

2.6.5 Beneficios

El beneficio es un concepto económico que hace referencia al rendimiento positivo de un bien o servicio, generalmente se calcula como los ingresos totales menos los costos totales de producción y distribución.

2.6.6 Flujo de caja

Es el movimiento de dinero en efectivo que entra y sale de la empresa. Esto incluye tanto los ingresos generados por las ventas, como los gastos de operación y las inversiones en activos fijos.

2.7 Evaluación de la alternativa propuesta

En esta etapa se desarrollan estudios preliminares pero suficientes para estimar la magnitud de la inversión, los costos de operación, los beneficios esperados y los riesgos asociados, con el fin de seleccionar la alternativa más conveniente y descartar opciones no viables.

2.7.1 Evaluación financiera

La evaluación financiera constituye un componente fundamental en el proceso de toma de decisiones de una entidad, ya que permite analizar, bajo distintos escenarios y horizontes temporales, los costos y beneficios asociados a las alternativas de inversión. A través del análisis de sensibilidad y otros instrumentos financieros, se busca determinar la viabilidad económica del proyecto y su capacidad para generar valor.

Para la evaluación financiera se emplean métodos ampliamente reconocidos, tales como el Valor Presente Neto (VPN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Período de Recuperación de la Inversión (PRI). Estos indicadores proporcionarán una base objetiva y cuantificable para comparar opciones y respaldar la decisión final sobre la ejecución del proyecto.

2.7.1.1 Valor Actual Neto (VAN) o Valor Presente Neto (VPN)

El VAN es la diferencia entre el valor de mercado de una inversión y su costo, por lo que este modelo mide el valor generado por una inversión. Para que un proyecto de inversión sea aceptado, debe contar con un VAN positivo. La ecuación será la siguiente

Ecuación N°2

$$NPV = \sum_{n=0}^N \frac{C_n}{(1+r)^n}$$

NPV: Valor neto actual

N: Numero total de periodos

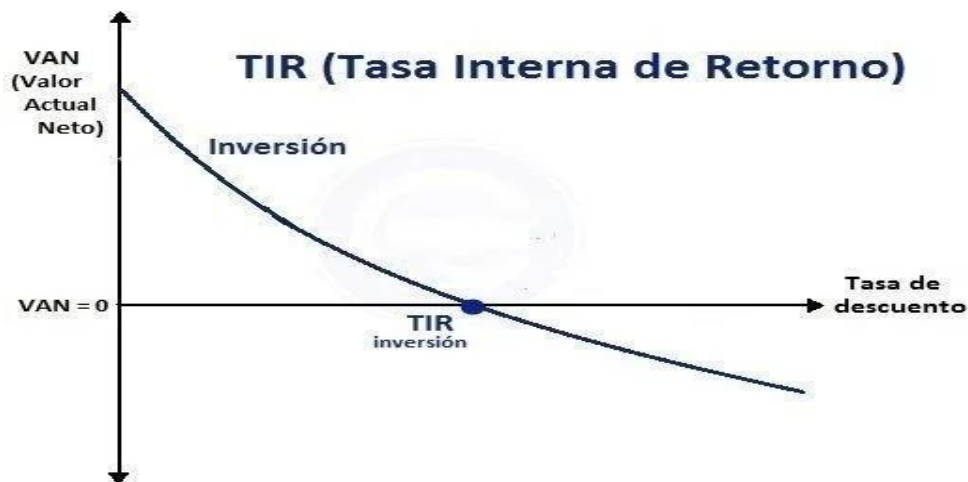
N: Entero no negativo

Cn: Flujo de Caja

I: tasa interna de retorno

La TIR busca dar con una tasa que permita al VAN llegar a un resultado igual a cero. No existe una fórmula matemática que permita calcular la TIR, por lo que la única manera de encontrarla es bajo prueba y error. Si la TIR excede el rendimiento requerido, la inversión puede ser tomada en cuenta.

Figura N°1. Tasa Interna de Retorno



Fuente: Villalobos, José Luis – Matemáticas Financiera

2.7.1.3 Índice de rentabilidad o relación beneficios-costos

El índice de rentabilidad permite evaluar, de manera rápida, si el proyecto de inversión es viable. Esto se consigue determinando el valor obtenido entre beneficio en base al costo.

2.7.2 Evaluación económica

La evaluación económica es el proceso mediante el cual se valoran los costos y beneficios sociales de un proyecto, con el objetivo de determinar si genera un impacto neto positivo para la comunidad y si representa la mejor alternativa de uso de los recursos públicos. En proyectos de agua potable, esta evaluación considera beneficios como la mejora en la salud pública, la reducción de costos de obtención de agua, el aumento de productividad y el bienestar social, comparados con los costos de inversión, operación y mantenimiento del sistema.

Según la CEPAL, la evaluación económica “permite medir la conveniencia de un proyecto desde la perspectiva de la sociedad, incorporando beneficios directos e indirectos, monetarios y no monetarios, para estimar su contribución al desarrollo y al bienestar colectivo” (CEPAL, 2014).

III- METODOLOGIA DE INSTALACION DE TUBERIA DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD USANDO EL SISTEMA DE PERFORACION HORIZONTAL DIRIGIDA

3.1 Etapas del sistema de perforación horizontal dirigida:

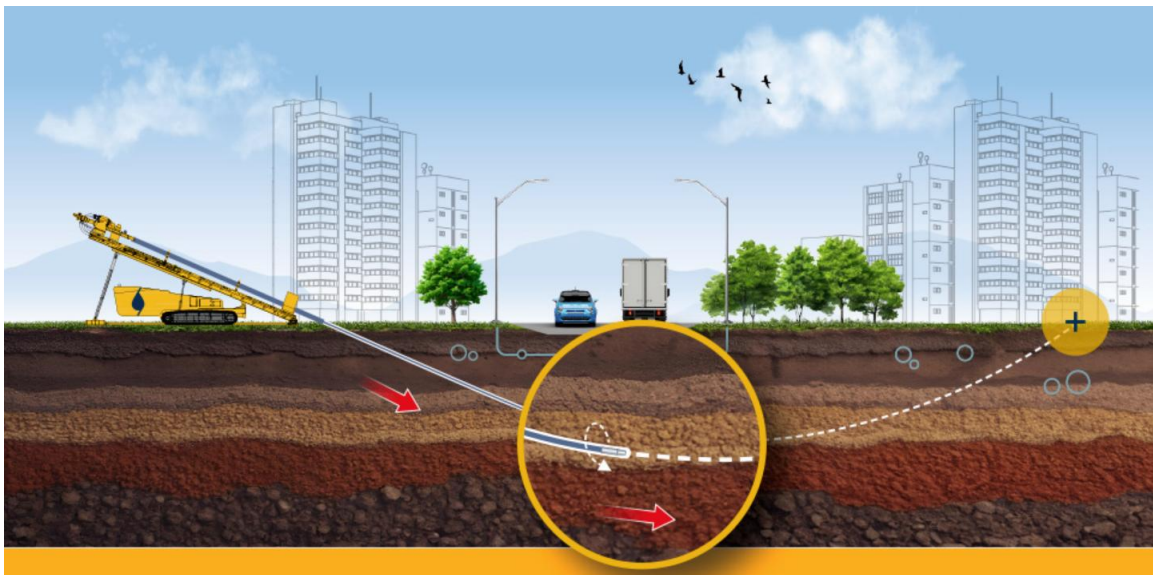
- Perforación Piloto
- Escariado (Reaming)
- Introducción de la Tubería (Pullback)

3.2 Perforación piloto en PHD (HDD):

La perforación piloto es la fase más importante del método sin zanja. Define el trazado real, la profundidad, la curvatura y el éxito del proyecto.

Es la etapa donde se ejecuta la perforación inicial que luego será ampliada y por la cual se instalará la tubería de PAD.

Figura N°2 Esquema general de perforación horizontal



Fuente: catalana de Perforaciones, España.

3.2.2 Componentes principales utilizados en la perforación piloto

3.2.2.1 Broca o cabeza pilotadora

La broca o cabeza pilotadora constituye el componente principal de la perforación piloto en HDD, diseñada para cortar el terreno mientras permite el control preciso de la trayectoria. Su diseño asimétrico facilita desviaciones planificadas, posibilitando cambios de dirección de manera controlada sin comprometer la estabilidad del pozo. Fabricada en acero aleado de alta resistencia, la broca soporta esfuerzos de torsión y abrasión significativos durante la penetración de diversos tipos de suelo y roca blanda. Adicionalmente, incorpora canales para la inyección de lodos, los cuales lubrican la broca, transportan los recortes y contribuyen a mantener la presión hidrostática necesaria para la estabilidad del túnel, integrando así múltiples funciones críticas en un único elemento de la sarta de perforación.

Figura No° 3 Perforación inicial o piloto



Fuente: Proyecto Instalación de Tubería Mirador Alto de Santo Domingo

3.2.2.2 Varillas de perforación

Los tubos de perforación horizontal dirigida (PHD/HDD) son herramientas huecas de paredes gruesas, esenciales en la instalación subterránea de tuberías, cables y conductos sin abrir zanjas, permitiendo sortear obstáculos (ríos, carreteras) mediante

un control preciso de la broca con una sonda de radiofrecuencia, minimizando impacto ambiental y disruptivo en zonas urbanas. Estos tubos, usualmente de acero o polietileno, transportan el fluido de perforación y se conectan para crear una ruta guiada que luego se ensancha para tirar de la tubería final.

Figura No° 4 Varillas de perforación



Fuente: Wuxi Geotech Geological Equipment

3.2.2.3 Sistema de guiado

La localización electromagnética con DigiTrak se basa en la detección de señales de baja frecuencia (kHz) emitidas por un transmisor (sondeo) dentro de la cabeza de perforación, usando un receptor portátil que tiene antenas internas para determinar la profundidad y el rumbo (inclinación/balanceo) del taladro direccional, permitiendo seguir una trayectoria subterránea precisa, aunque puede haber interferencias de otras fuentes eléctricas que requieren seleccionar diferentes "bandas" de frecuencia para una localización clara.

Cómo funciona (Principios básicos):

Transmisor (Sondeo): Un dispositivo dentro de la cabeza de perforación emite un campo electromagnético en diferentes frecuencias (bandas).

Receptor (Localizador): El operador usa un receptor de mano que "escucha" estas señales con antenas especiales (profundidad y balanceo).

Detección de Profundidad y Rumbo: Al combinar la intensidad de la señal y las lecturas de las antenas, el localizador calcula la distancia vertical (profundidad) y la posición horizontal (rumbo) del transmisor.

Selección de Frecuencias: Los equipos DigiTrak (como el Falcon F5+) operan en varias bandas de baja frecuencia (kHz) para adaptarse a diferentes terrenos y evitar interferencias, permitiendo mayor rango y precisión.

Figura No° 5 Sistema DigiTrak



Fuente: Digital Control Inc.

3.2.2.4 Lodos de perforación

Mezcla típica: agua + bentonita + polímeros.

La bentonita es crucial en la Perforación Horizontal Dirigida (PHD/HDD) porque, al mezclarse con agua, forma un lodo que estabiliza las paredes del pozo, suspende y transporta los recortes de perforación (escombros), lubrica la broca y reduce la pérdida de fluido, evitando colapsos y fallas en equipos, siendo la bentonita sódica la más usada por su alta hinchazón y rendimiento.

- **Funciones clave de la bentonita en PHD:**
- **Estabilización del pozo:** Crea una "torta de filtración" que recubre las paredes del túnel, evitando su derrumbe.
- **Transporte de recortes:** Aumenta la viscosidad y la resistencia del gel del lodo para levantar eficientemente los escombros a la superficie.
- **Lubricación y refrigeración:** Reduce la fricción entre la broca y la formación, y enfría la herramienta de corte.
- **Control de fluidos:** Sella la formación, minimizando la pérdida de fluido de perforación.
- **Tipos y propiedades:**
- **Bentonita sódica:** Es la preferida para HDD debido a su alta capacidad de absorción de agua (hasta 8 veces su volumen), lo que genera lodos de mayor viscosidad y rendimiento, incluso con menos producto que la bentonita cálcica.
- **Bentonita cálcica:** Se usa, pero requiere mayores cantidades o aditivos (polímeros) para obtener resultados similares a la sódica en aplicaciones exigentes.

3.2.3 Etapas del proceso de perforación piloto

3.2.3.1 Alineación inicial

Se establece el ángulo de entrada según diseño (generalmente entre 8° y 20°).

Se define la trayectoria con base en:

- Profundidad mínima requerida.
- Distancia entre puntos.
- Radio de curvatura permitido por la tubería PAD.

3.2.3.2 Inicio de la perforación

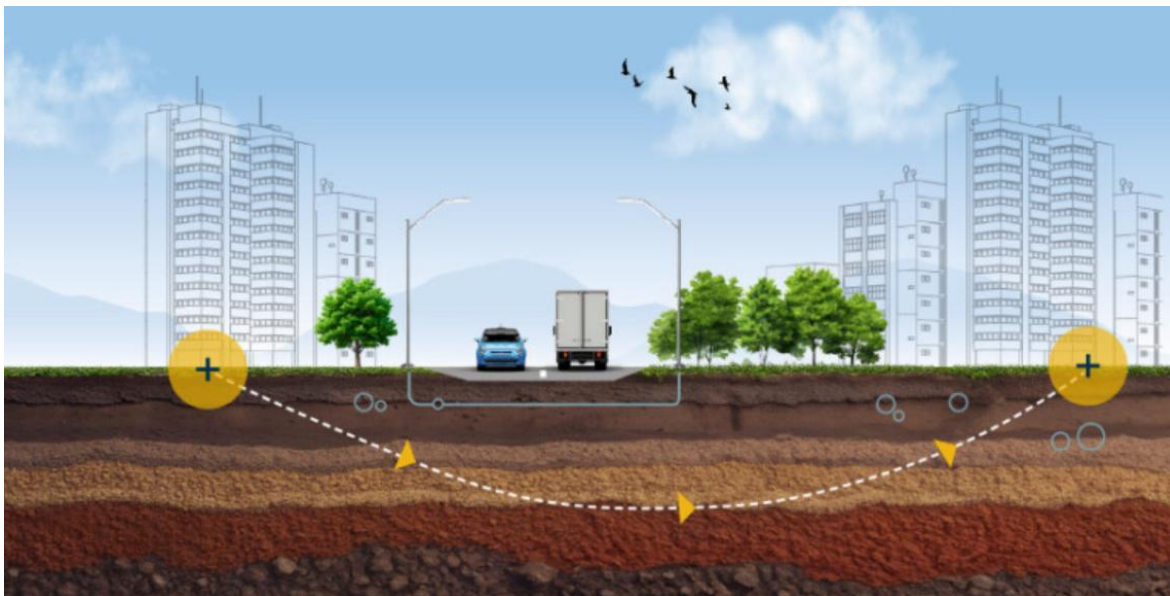
Durante el inicio de la perforación, la broca comienza a penetrar el terreno impulsada por el sistema de empuje de la máquina perforadora. Desde el primer instante se realiza la inyección continua de lodos, lo que permite estabilizar las paredes del pozo, refrigerar la herramienta de corte y facilitar la evacuación del detrito generado. En esta etapa inicial, el avance se mantiene deliberadamente lento y controlado con el fin de obtener información precisa sobre las características geotécnicas del terreno atravesado y asegurar condiciones óptimas de operación.

3.2.3.3 Control de dirección

En los trabajos de perforación horizontal dirigida destinados a la instalación de tuberías de polietileno de alta densidad (PEAD), el control de dirección constituye un componente fundamental para asegurar que la trayectoria de la perforación piloto se ajuste con precisión al diseño geométrico previsto, evitando interferencias con servicios existentes y manteniendo las pendientes y radios de curvatura permitidos por la tubería. El comportamiento direccional del sistema se basa en la dinámica de la cabeza de perforación: cuando la broca gira de manera continua, el conjunto avanza en línea recta debido a la acción uniformadora de la rotación; sin embargo, al detener la rotación y aplicar únicamente empuje, la herramienta se inclina hacia el lado plano de la broca, generando un cambio de trayectoria. Esta capacidad es esencial para ejecutar maniobras de corrección tanto en el plano vertical (permitiendo ajustar la inclinación para profundizar o elevar la perforación según las restricciones del terreno y los requisitos del proyecto) como en el plano horizontal, donde se corrige la orientación hacia la izquierda o derecha para mantener el alineamiento con el punto de salida o con el corredor subterráneo designado.

A lo largo de todo el avance, el operador realiza un seguimiento continuo de parámetros críticos transmitidos por el sistema de guiado, tales como el ángulo de inclinación (pitch), la profundidad efectiva respecto a la superficie, el azimut o rumbo de la perforación, la distancia acumulada perforada y, en algunos casos, la intensidad del campo magnético para validar la posición. Esta información permite ejecutar ajustes graduales y evitar desviaciones significativas que puedan comprometer el radio mínimo de curvatura requerido por el PEAD, la estabilidad del pozo o la integridad del proceso de tiro posterior. El control direccional preciso no solo garantiza que la perforación se ejecute de manera segura y eficiente, sino que también asegura que la perforación piloto resultante sea compatible con las condiciones mecánicas e hidráulicas necesarias para la posterior instalación y operación de la tubería de PEAD.

Figura No° 6 Sección calle y línea guía de perforación horizontal



Fuente: catalana de Perforaciones, España.

3.2.3.4 Gestión del suelo excavado

En la perforación horizontal dirigida, la gestión del suelo excavado es un proceso esencial para mantener la eficiencia operativa y minimizar el impacto ambiental.

Tanto durante el avance del pozo piloto como en las etapas posteriores de ensanchamiento, los lodos de perforación (formulados principalmente con bentonita) transportan continuamente el material desprendido hacia la fosa de entrada. Esta mezcla de bentonita y detritos es sometida a procesos de separación y filtrado que permiten recuperar la fracción reutilizable del lodo y aislar los sólidos extraídos del terreno. Los materiales separados se manipulan, almacenan y disponen de acuerdo con la normativa ambiental vigente, evitando la dispersión de sedimentos y cualquier riesgo de contaminación. Una adecuada gestión del flujo de lodos y del suelo excavado, tanto en la perforación inicial como en el ensanchamiento, optimiza el rendimiento del sistema de circulación y garantiza condiciones estables y seguras para la posterior instalación de la tubería de PEAD.

3.2.3.5 Avance progresivo

Durante el avance progresivo en la perforación horizontal dirigida, el pozo piloto se va extendiendo mediante la incorporación sucesiva de varillas, las cuales se acoplan una a una al tren de perforación para mantener la continuidad del avance. A lo largo de esta etapa, se sostiene una presión adecuada de lodos —generalmente a base de bentonita— con el fin de estabilizar el túnel, lubricar la herramienta de corte y facilitar el transporte del material excavado hacia la superficie. El operador supervisa de forma constante diversos indicadores operativos que pueden alertar sobre condiciones adversas, tales como pérdidas de circulación de lodos, variaciones bruscas en la dureza o composición del terreno, y la aparición de vibraciones anormales en las varillas de perforación. La detección oportuna de estas señales permite ajustar los parámetros de perforación y garantizar un avance seguro, estable y compatible con los requerimientos geométricos de la futura instalación de la tubería de PEAD.

3.2.3.6 Llegada al punto de salida

La llegada al punto de salida constituye una etapa crítica del proceso de perforación piloto en HDD, ya que exige que la broca emerja exactamente dentro del área previamente establecida en los planos de diseño. Durante esta fase, el receptor de

guiado en superficie verifica en tiempo real la localización del cabezal, confirmando la posición y profundidad con respecto al trazado programado. Una vez alcanzado el punto de salida, se realiza una revisión del alineamiento horizontal y vertical para validar que la trayectoria ejecutada coincide con las tolerancias diseñadas, garantizando así la estabilidad del pozo piloto y la correcta transición hacia las etapas subsecuentes del proceso de ensanche o instalación del ducto.

3.2.4 Parámetros técnicos clave en la perforación piloto

3.2.4.1 Profundidad

La profundidad de la perforación piloto en operaciones de perforación horizontal dirigida (HDD) se determina en función de múltiples variables operativas y de seguridad, entre las que destacan el cumplimiento de normativas locales, la caracterización geotécnica del terreno y la ubicación y distribución de los servicios existentes en el corredor de instalación. Estos factores condicionan tanto la trayectoria inicial como el ángulo de entrada y la ventana de curvatura admisible, asegurando que el pozo piloto mantenga una separación mínima respecto a redes sensibles como ductos, líneas eléctricas o sistemas de saneamiento. En entornos urbanos, donde la densidad de infraestructura subterránea es mayor, la profundidad de diseño suele situarse en un rango entre 1.5 m y 5 m, buscando minimizar interferencias, garantizar la estabilidad del orificio y mantener parámetros operativos adecuados para el seguimiento del cabezal de perforación y la contención del fluido.

3.2.4.2 Radio de curvatura

El radio de curvatura en la perforación horizontal dirigida constituye un parámetro crítico para garantizar la integridad de la tubería de polietileno de alta densidad (PAD) durante el tiro. Este radio debe ser plenamente compatible con la flexibilidad estructural del ducto, determinada por su diámetro exterior y su SDR, los cuales definen su capacidad para soportar esfuerzos de flexión sin daños. Cuando el diseño contempla radios demasiado cerrados, la tubería puede experimentar stress excesivo, generando ovalesamientos, deformaciones permanentes o incluso

iniciación de fisuras, lo que compromete la confiabilidad del sistema instalado. Por ello, la definición del radio de curvatura debe considerar los límites mecánicos del material y las recomendaciones del fabricante, manteniendo márgenes de seguridad adecuados para la operación.

3.2.4.3 Velocidad de avance

La velocidad de avance durante la perforación horizontal dirigida no es un valor fijo, sino un parámetro dinámico que debe ajustarse continuamente en función de las condiciones operativas del subsuelo. Factores como el tipo de suelo, la inclinación del trazado y la dureza del material determinan la tasa óptima de penetración, ya que influyen directamente en el comportamiento de la broca, la presión de empuje y el consumo energético del equipo. En suelos blandos se permite un avance moderadamente mayor, mientras que en formaciones duras o en segmentos con cambios de pendiente se requieren reducciones significativas para mantener la estabilidad del pozo y evitar sobrecargas en la herramienta de corte. Por estas razones, la velocidad aplicada se gestiona bajo métodos de control preciso, característicos de operaciones especializadas y no de procesos de perforación de alta producción, garantizando así un desempeño estable y seguro a lo largo del tramo piloto.

3.2.4.4 Presión y caudal de lodos

La presión y el caudal de los lodos de perforación desempeñan un papel crítico en la estabilidad del túnel durante la perforación piloto en HDD, ya que el fluido debe generar una presión hidrostática suficiente para sostener las paredes del orificio y transportar eficazmente los recortes hacia superficie. Cuando la presión es demasiado baja, disminuye la capacidad de soporte del lodo, aumentando el riesgo de colapso del túnel, atrapamiento de la herramienta y pérdida de circulación. Por el contrario, un exceso de presión puede inducir fracturas en el terreno, generar rutas de fuga del fluido o provocar emanaciones no controladas hacia superficie, comprometiendo la integridad del pozo y la seguridad de la operación. Por ello, tanto la presión como el caudal deben ser regulados en función del tipo de suelo y de la

respuesta hidráulica observada en cada tramo, manteniendo un equilibrio que asegure la continuidad y estabilidad de la perforación.

3.2.5 Factores geotécnicos que influyen en la perforación piloto

Las condiciones geotécnicas del terreno influyen de manera directa en la estabilidad del túnel, el desempeño del equipo y el control de la trayectoria durante la perforación piloto en PHD. Cada tipo de suelo o formación geológica presenta comportamientos específicos que requieren ajustes en el diseño del fluido, la selección de herramientas y los parámetros operativos.

En suelos blandos, como arcillas y limos, la cohesión natural favorece la estabilidad del túnel; sin embargo, su comportamiento plástico puede provocar adherencia excesiva sobre la broca y la sarta, incrementando el torque y la resistencia al avance. Para mitigar estos efectos, se emplean lodos de mayor viscosidad que mejoran la lubricación, reducen el pegado diferencial y aseguran el transporte eficiente de recortes finos.

Los suelos arenosos representan un mayor riesgo debido a su baja cohesión y alta permeabilidad, lo que incrementa la probabilidad de colapsos y pérdidas de circulación. En estas condiciones, es indispensable utilizar fluidos con adecuado control de filtrado y viscosidad suficiente para formar una torta de lodo estable que mantenga la presión hidrostática necesaria para sostener las paredes del túnel.

En suelos con grava o bolones, la presencia de partículas gruesas y duras aumenta el desgaste de la broca y puede afectar la precisión del trazado al inducir desviaciones de la trayectoria. Para garantizar un avance controlado, se requiere un ajuste cuidadoso del tipo de broca, la velocidad de avance, el caudal y la presión del lodo, así como un monitoreo continuo mediante el sistema de guiado.

En formaciones de roca blanda, la resistencia intermedia del material exige el uso de brocas más robustas y un control preciso de los parámetros operativos. Aunque el avance suele ser más estable que en roca dura, la abrasividad y la fragmentación

irregular pueden generar vibraciones y desviaciones si no se optimizan el torque, la velocidad de penetración y la presión del fluido.

Finalmente, en roca dura, la perforación piloto se caracteriza por velocidades de avance reducidas y un alto desgaste del equipo. En estos casos, resulta fundamental el empleo de brocas especializadas y sistemas de guiado de alta precisión, junto con un control riguroso de los parámetros de perforación y del fluido, para asegurar la estabilidad del túnel y el cumplimiento de la trayectoria de diseño.

3.3 Escareado (Reaming)

El escareado o Reaming es una fase crítica dentro de la perforación horizontal dirigida (HDD), que tiene como objetivo agrandar el agujero piloto al diámetro final requerido para la instalación de tubería de polietileno de alta densidad (PAD). Esta operación permite que la tubería se instale sin deformaciones estructurales y con mínima fricción, asegurando la continuidad del proyecto y reduciendo riesgos de colapso o desalineación. El escareado representa un proceso de mayor carga mecánica e hidráulica que la perforación piloto y requiere control preciso de parámetros técnicos para mantener la integridad del pozo.

Figura No° 7 Escariado de agujero inicial



Fuente: Catalana de Perforaciones, España

3.3.2 Herramientas principales

- **Plataforma de Perforación Horizontal Direccional**

Una tuneladora horizontal de perforación dirigida (HDD) es un equipo especializado diseñado para ejecutar perforaciones subterráneas sin zanja y con control preciso de la trayectoria, comúnmente utilizado para la instalación de tuberías de agua, gas, electricidad, telecomunicaciones o líneas de PAD en superficies donde no es posible realizar excavaciones abiertas. Aunque se le llama “tuneladora”, su funcionamiento se basa más en el principio de perforación dirigida que en el de las TBM convencionales usadas en grandes túneles.

Este tipo de tuneladora se compone de un sistema de potencia, un mástil de empuje, un cabezal de perforación guiado y una sarta de perforación que transmite torque, empuje y flujo de lodos. La máquina realiza primero un pilotaje, guiado mediante un sensor localizado detrás del trépano, que permite mantener una trayectoria precisa tanto en profundidad como en dirección horizontal. Una vez completado el agujero piloto, el equipo se conecta a un escariador, que se arrastra de regreso aumentando progresivamente el diámetro hasta alcanzar el tamaño necesario para la instalación de la tubería final.

- **Escariador o Reamer:** El escariador constituye la herramienta central del proceso de escareado en perforación horizontal dirigida. Su selección y diseño dependen directamente de las características del terreno y del diámetro final requerido para la tubería PAD. Entre los tipos más utilizados se encuentran el tricónico, el de corte tipo PDC (policristalino de diamante) y el liso, cada uno adaptado a diferentes durezas y condiciones del suelo. Está fabricado en acero aleado de alta resistencia, con puntas o insertos de carburo que le permiten soportar la abrasión y el desgaste generados durante el corte. Su función principal es agrandar el agujero piloto, manteniendo la trayectoria predeterminada y permitiendo la circulación continua de lodos para lubricación y transporte de recortes. Además, su dimensión se selecciona ligeramente superior al diámetro final de la tubería PAD, garantizando que la

instalación del ducto se realice sin interferencias ni daños estructurales, asegurando la integridad de la tubería y la eficiencia del proceso HDD.

- **Sarta de Perforación:** La sarta de perforación utilizada en perforación horizontal dirigida (HDD) para la instalación de tubería de PAD cumple un papel fundamental en la etapa de escariado, donde es necesario ampliar progresivamente el diámetro del pilote perforado. Esta sarta no solo transmite el torque y el empuje necesarios para accionar el escariador a través de trayectorias curvas y en ocasiones de gran longitud, sino que también garantiza la integridad estructural del conjunto frente a las elevadas fuerzas de torsión, tracción y flexión generadas durante múltiples pasadas de escariado. Además, actúa como medio de conducción del fluido de perforación, permitiendo el flujo continuo de lodos hacia la herramienta para mantener la estabilidad del túnel, lubricar el escariador, remover recortes y sostener la presión requerida para evitar colapsos o atascamientos. Su diseño y ensamble deben asegurar una conexión confiable, resistente al desgaste y capaz de transmitir con precisión la señal de guiado, evitando desviaciones del alineamiento planificado y garantizando que la perforación se mantenga dentro de las tolerancias necesarias para recibir posteriormente la tubería de PAD sin interferencias. En conjunto, la sarta de perforación se convierte en un elemento crítico para la eficiencia, seguridad y calidad del proceso de escariado en proyectos de HDD.

3.3.3 Fases del Escareado en Perforación Horizontal Dirigida (HDD)

El proceso de escareado constituye la etapa en la que el agujero piloto es ampliado de forma progresiva y controlada hasta obtener el diámetro final necesario para permitir el tiro (pullback) e instalación de la tubería de PAD. Esta operación requiere un diseño técnico adecuado y un control operacional riguroso, ya que es durante el escareado donde se concentran las mayores solicitaciones mecánicas sobre el equipo, la sarta de perforación y el terreno circundante.

3.3.3.1 Primera Pasada de Escareado (Escariado Primario)

La primera pasada constituye el agrandamiento inicial del agujero piloto y tiene funciones críticas tanto operativas como geotécnicas.

Características técnicas:

- Diámetro del escariador: suele ser entre 1.5 y 2 veces el diámetro del trépano piloto, dependiendo de la geología.
- Torque aplicado: se mantiene en un rango medio para evitar sobrecarga en formaciones frágiles o arenosas.
- Velocidad de rotación: baja a moderada (para minimizar vibraciones y evitar sobre excavación).
- Flujo de lodos: aumentado respecto al pilotaje para garantizar transporte eficiente de recortes y evitar sedimentación.

Consideraciones geotécnicas:

- En suelos blandos y arenosos puede producirse “ballooning” o ensanchamiento involuntario del túnel si la presión de lodos es excesiva.
- En arcillas muy plásticas, el riesgo principal es la adhesión (“sticking”) del escariador, por lo que se requiere un lodo con inhibidores y buena viscosidad.

3.3.3.2 Pasadas Adicionales de Escareado (Escariado Secundario y Final)

- Estas pasadas se realizan en secuencia hasta alcanzar el diámetro final requerido para la tubería PAD.

Diseño del proceso:

- El aumento de diámetro se realiza en incrementos graduados, evitando saltos excesivos que generen sobrecarga mecánica o debilitamiento del túnel.
- Para tubería PAD, el diámetro final del túnel suele ser 1.3 a 1.5 veces el diámetro exterior de la tubería.
- **Presión de lodos:** Permite detectar posibles pérdidas o sobrepresiones en el frente de perforación y funciona como indicador indirecto de colapsos, obstrucciones o fallas del terreno.

- **Desviación horizontal y vertical:** Se comparan los valores reales con el diseño geométrico para evaluar la precisión de la trayectoria y analizar el comportamiento de la sarta, incluyendo resistencia al avance y presencia de vibraciones.
- **Alineación:** Es crítica para la instalación de tuberías PAD, ya que curvas más cerradas que el radio mínimo permitido pueden generar tensiones excesivas y deformaciones en la tubería.
- **Torque y RPM sostenidos:** Un aumento inesperado de estos parámetros puede indicar sobre excavación, dificultades en la evacuación de recortes o desgaste prematuro del escariador.
- **Calidad del lodo de retorno:** El análisis de la granulometría de los recortes, así como la presencia de arenas, arcillas plásticas o grava, permite evaluar si el corte es eficiente y si el terreno mantiene estabilidad durante el escareado.

3.3.5 Ajuste de Densidad y viscosidad del lodo

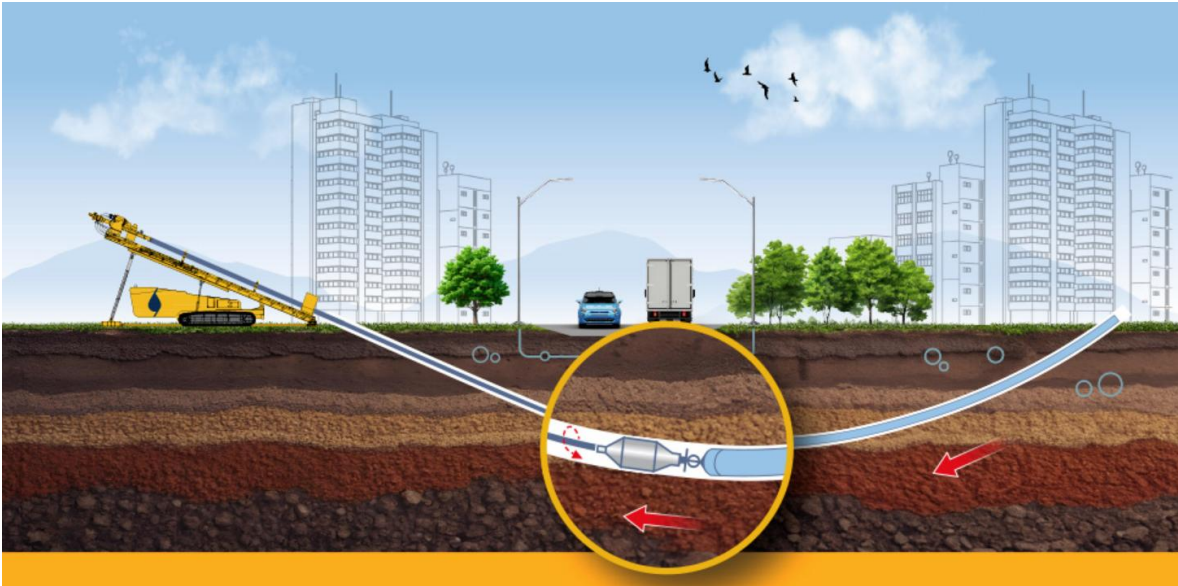
- Cambio de escariador o modificación de parámetros mecánicos.
- Limpieza intermedia del túnel mediante circulación extendida.
- Repetición de pasada si se observa irregularidad significativa.

3.3 Introducción de la tubería (pullback)

La fase de pullback constituye la etapa final y crítica en la instalación de tuberías mediante perforación horizontal dirigida (HDD). En esta etapa, la tubería se introduce a través del túnel previamente escariado, desde el punto de salida hacia el punto de entrada, garantizando la correcta alineación, integridad estructural y funcionalidad del sistema.

Para la instalación de tuberías mediante perforación horizontal dirigida (HDD), el material más utilizado es el Polietileno de Alta Densidad (PEAD), debido a su combinación de propiedades mecánicas, físicas y químicas que lo hacen ideal para este tipo de aplicaciones subterráneas.

Figura No° 8 Fase de pullback o inserción de tubería



Fuente: catalana de Perforacions, España.

- **Flexibilidad:** El PEAD permite que la tubería siga curvaturas controladas dentro del radio mínimo de diseño sin generar fisuras o deformaciones permanentes. Esta característica es crucial en HDD, donde la trayectoria puede presentar cambios de dirección o pendientes y se requiere que la tubería se adapte sin comprometer su integridad estructural.
- **Resistencia a la tracción:** La tubería de PEAD soporta las fuerzas longitudinales generadas durante el arrastre del escariador en la fase de pullback, incluyendo tensiones adicionales por fricción con las paredes del túnel o irregularidades del terreno. Esta propiedad asegura que la tubería no se elongue ni se fracture, incluso en trayectorias curvas o con resistencia elevada al avance.
- **Durabilidad y resistencia a la abrasión:** Durante la instalación, la tubería entra en contacto directo con los lodos de perforación y las superficies del túnel escariado, lo que genera desgaste superficial. El PEAD posee una alta resistencia a la abrasión y a la degradación química, garantizando su vida útil prolongada y manteniendo la integridad de la conducción a lo largo del tiempo.

- **Ligereza relativa:** Comparado con otros materiales, el PEAD es relativamente liviano, lo que facilita su manipulación, transporte y alineación dentro del túnel. Esta propiedad reduce la carga sobre el equipo de arrastre y permite un control más preciso durante el pullback, minimizando el riesgo de torsión o daño mecánico.

En conjunto, estas propiedades hacen del PEAD el material óptimo para tuberías de PAD instaladas mediante HDD, asegurando que la conducción cumpla con los requerimientos de resistencia, durabilidad y flexibilidad, y que pueda ser introducida en el túnel sin complicaciones ni daños estructurales.

3.4.2.2 Arrastre controlado

El escariador, una vez alcanzado el diámetro final del túnel, se desplaza hacia el punto de entrada efectuando el *pullback* de la tubería de forma lenta, uniforme y controlada. La velocidad de avance se define en función de la longitud del tramo, las condiciones geotécnicas, la geometría de la trayectoria y la capacidad de tracción del equipo, con el fin de limitar los esfuerzos inducidos por fricción y evitar sobrecargas sobre la tubería.

El arrastre controlado tiene como propósito prevenir picos de tensión y torsión que puedan afectar la integridad estructural del conducto, asegurando el seguimiento de la alineación proyectada y el respeto de los radios mínimos de curvatura. La adecuada coordinación entre velocidad de avance, fuerza de tracción y torque del escariador permite una introducción estable, especialmente en zonas con curvas o cambios de dirección.

3.4.6 Resultados esperados

Al concluir correctamente el proceso de *pullback*, la tubería de PAD queda instalada de manera íntegra dentro del túnel, cumpliendo estrictamente con la alineación horizontal y vertical definida en el diseño. Esta correcta disposición asegura el respeto de los radios mínimos de curvatura y de los parámetros geométricos

proyectados, evitando desviaciones que puedan inducir esfuerzos adicionales o interferencias en las conexiones.

La tubería mantiene su integridad estructural, sin evidenciar deformaciones, torsiones, elongaciones ni fisuras, como resultado del control continuo de los parámetros operativos, tales como tracción, torque, presión de lodos y verificación de la alineación durante la ejecución. Estas condiciones garantizan la conservación de sus propiedades mecánicas y su desempeño confiable a largo plazo.

El procedimiento permite una instalación eficiente, segura y de rápida ejecución, reduciendo significativamente la afectación superficial del terreno. La aplicación de la perforación horizontal dirigida, junto con un pullback controlado, minimiza los impactos ambientales, protege infraestructuras existentes y asegura el cumplimiento de los criterios técnicos, ambientales y de seguridad establecidos en el proyecto.

3.6 Soldaduras de Termofusión y Electrofusión en Tuberías de Polietileno de Alta Densidad (PEAD)

La unión de tuberías de PEAD constituye uno de los aspectos más críticos en la construcción de redes de conducción de fluidos, especialmente en sistemas sometidos a presión, instalaciones enterradas y líneas destinadas a servicios como agua, gas, saneamiento, minería y cruces mediante Perforación Horizontal Dirigida (PHD). Las técnicas de soldadura más empleadas son la termofusión a tope (butt fusion) y el electro fusión (electrofusión), ambas basadas en el principio de fusión molecular del polímero, lo que da lugar a juntas monolíticas de elevada resistencia mecánica y durabilidad comparable a la del propio tubo.

3.6.1 Principios moleculares de la soldadura en PEAD

El PEAD es un polímero semicristalino cuya estructura está compuesta por regiones cristalinas y amorfas. Cuando se calientan dos superficies de PEAD hasta el rango de fusión, las cadenas poliméricas aumentan su movilidad, se entrelazan y difunden a través de la interfaz. Durante el enfriamiento posterior, la cristalinidad se restablece, generando una unión continua y homogénea que, mecánicamente, se comporta

como un solo elemento. Esta característica explica por qué las juntas soldadas adecuadamente pueden igualar o incluso superar la resistencia del tubo virgen, siempre que se cumplan los parámetros de alineación, preparación superficial y enfriamiento.

3.6.2 Soldadura por Termofusión (Butt Fusion)

La termofusión consiste en la unión directa de dos extremos de tubería o accesorios mediante el calentamiento simultáneo de ambas caras y su posterior fusión bajo presión controlada. Es el método preferido para diámetros medios y grandes, especialmente en redes de transporte y en cruces de PHD donde se requiere continuidad estructural de la cadena de tubería. El proceso implica enfrentar los extremos previamente biselados y rectificados hasta obtener superficies limpias y paralelas. Luego se acercan a una placa calefactora revestida con material antiadherente, la cual transfiere calor suficiente para producir la fusión del material superficial. Una vez alcanzado el grado de ablandamiento adecuado, la placa se retira y los extremos se presionan entre sí, permitiendo la coalescencia de las cadenas poliméricas.

Una característica esencial de la termofusión es la formación del “cordón” o reborde externo e interno, que indica el desplazamiento del material fundido hacia el perímetro de la unión. La geometría, simetría y continuidad de este cordón son parámetros ampliamente utilizados como indicadores cualitativos de la integridad de la soldadura. En aplicaciones críticas, especialmente en gas o PHD, esta unión suele someterse a inspección visual, pruebas hidrostáticas y, en casos especializados, ensayos no destructivos.

3.6.2.1 Parámetros críticos en la termofusión

La calidad de la termofusión depende del control simultáneo de varios factores: la preparación geométrica de los extremos, la presión aplicada durante las fases de asentamiento y cierre, el tiempo de contacto con la placa calefactora y el tiempo de enfriamiento bajo sujeción. Aunque los valores numéricos dependen del SDR del

tubo, del diámetro y de la normativa aplicable, el principio general consiste en garantizar una transferencia térmica uniforme y evitar la contaminación superficial por humedad, polvo o grasa. La alineación axial es igualmente determinante; desviaciones mínimas pueden provocar tensiones residuales, formación de labios asimétricos o reducción de resistencia en la zona soldada.

3.6.2.2 Proceso de unión por termofusión en tuberías de PEAD

La soldadura por termofusión a tope constituye el método más confiable para unir tuberías de polietileno de alta densidad (PEAD) en sistemas de transporte de agua, gas o fluidos industriales, así como en aplicaciones de Perforación Horizontal Dirigida (PHD) (Plastics Pipe Institute [PPI], 2018; ASTM International, 2021). Este procedimiento permite la fusión de los extremos de tubería y accesorios, logrando la coalescencia molecular y la formación de un tramo continuo con propiedades mecánicas equivalentes al material base (McGrath & Hiltner, 2010).

3.6.2.3 Preparación del material y verificación geométrica

Antes de iniciar la termofusión, los extremos de tubería deben verificarse dimensional y físicamente. Es imprescindible que la tubería corresponda a la misma clase, SDR y serie de PEAD, y que los extremos se encuentren libres de deformaciones, ovalización o daños superficiales (ISO 21307, 2010; ASTM F2620–21). La alineación axial es fundamental, pues cualquier desvío durante la fusión puede generar concentradores de tensión o zonas de fusión incompleta. En casos donde se presentan deformaciones por almacenamiento o curvatura, estas deben corregirse mediante sujeción mecánica dentro de la máquina de termofusión (PPI, 2018).

3.6.2.4 Alineación y fijación en la máquina de fusión

Los extremos de tubería se colocan en las mordazas del equipo de fusión, garantizando la inmovilización y la coincidencia axial. Posteriormente se realiza una prueba de contacto preliminar, conocida como “prueba de asentamiento”, destinada a verificar la correcta alineación y el ajuste de las superficies. Los parámetros de presión y tolerancia en esta fase son establecidos por las normas internacionales y

por el fabricante, y no deben ajustarse de manera arbitraria (ISO 21307, 2010; ASTM F2620–21).

3.6.2.5 Rectificación y limpieza de superficies

Se procede al escuadrado de los extremos mediante herramienta cortante especializada, removiendo una capa superficial para garantizar superficies paralelas y planas. Esta operación elimina defectos superficiales, óxidos o contaminación superficial. Tras el escuadrado, las superficies se limpian cuidadosamente con materiales compatibles, asegurando la ausencia de polvo, humedad o agentes contaminantes que puedan interferir con la coalescencia molecular (ISO 21307, 2010; PPI, 2018).

3.6.2.6 Fase de calentamiento mediante placa térmica

Una vez preparados los extremos, se coloca una placa calefactora entre ellos. Esta placa transfiere calor de manera uniforme, permitiendo que el material superficial alcance el estado fundido sin degradarse. La profundidad de fusión debe ser suficiente para garantizar la movilidad molecular y la formación de la zona de coalescencia (McGrath & Hiltner, 2010).

Todos los valores específicos de temperatura de la placa, tiempo de calentamiento y presión aplicada durante esta fase dependen exclusivamente de normas técnicas (ISO 21307, ASTM F2620) y de los manuales del fabricante; nunca deben aplicarse valores aproximados o derivados de experiencias empíricas.

3.6.2.7 Retiro de la placa y unión de los extremos

Al retirar la placa calefactora, los extremos fundidos se aproximan bajo presión controlada. La coalescencia molecular se produce cuando las cadenas poliméricas se entrelazan a través de la interfaz, formando una zona homogénea. La simetría del cordón de fusión, tanto interno como externo, indica la calidad del proceso. Los parámetros de presión y tiempo de contacto están definidos en las normas y tablas del fabricante (ASTM International, 2021; ISO 21307, 2010).

3.6.2.8 Fase de enfriamiento bajo sujeción

Una vez unidas, las tuberías deben permanecer inmóviles durante el enfriamiento. Esta fase permite que el PEAD recupere su estructura semicristalina y alcance las propiedades mecánicas finales. El tiempo de enfriamiento mínimo y las condiciones de sujeción están normados por ISO 21307, ASTM F2620 y por el fabricante. El incumplimiento de estos parámetros puede generar tensiones residuales, deformaciones o fallas prematuras (PPI, 2018; McGrath & Hiltner, 2010).

3.6.2.9 Inspección final y control de calidad

Al concluir el enfriamiento, la unión se inspecciona visualmente. Se verifica la continuidad y simetría del cordón, la alineación axial y la ausencia de defectos superficiales. En aplicaciones críticas, pueden realizarse ensayos hidrostáticos u otros métodos de control definidos en normas internacionales (ISO 21307, 2010; ASTM F2620–21). Todos los criterios de aceptación y rechazo deben consultarse en la normativa específica y no deben establecerse de manera subjetiva.

3.6.2.10 Consideraciones finales

La termofusión de PEAD garantiza una unión con resistencia mecánica comparable a la del tubo base, siempre que se cumplan todos los pasos y los parámetros normativos. Este proceso es especialmente relevante en PHD, ya que permite la instalación de largos tramos continuos sin interrupciones, minimizando puntos débiles y asegurando integridad estructural durante el tiro y la flexión de la tubería (Hair, 2008; Ditch Witch, 2017).

3.6.3 Soldadura por Electro fusión

La electrofusión se basa en la utilización de accesorios con resistencias eléctricas embebidas en su pared interior. Al aplicar energía controlada mediante un equipo especializado, las espiras calefactoras generan calor localizado que funde simultáneamente el interior del accesorio y la superficie externa del tubo. Ambos materiales se colocan dentro de la zona de fusión, creando una unión homogénea

sin necesidad de enfrentar ni biselar extremos. Esta técnica es especialmente útil en instalaciones urbanas, espacios confinados, reparaciones, derivaciones o tuberías con restricciones de alineación.

Los accesorios de electrofusión están fabricados con el mismo tipo de polietileno que la tubería y se producen con tolerancias estrictas. Cada accesorio contiene un código de datos o identificación que permite al equipo de soldadura reconocer automáticamente la energía y el ciclo de calentamiento requeridos. Esto reduce errores humanos y aumenta la repetibilidad del proceso, condición esencial para garantizar uniones confiables en redes sensibles.

3.6.3.2 Comparación estructural entre termofusión y electrofusión

Desde el punto de vista estructural, ambos métodos generan uniones monolíticas, pero su comportamiento depende de la geometría y del volumen de material fusionado. En termofusión, la unión forma una sección continua de espesor homogéneo, ideal para soportar esfuerzos traccionados importantes, como los presentes durante el tiro de tubería en PHD. La electrofusión, por su parte, produce una zona reforzada en torno al accesorio, con un espesor mayor que el del tubo original, pero con concentraciones de rigidez que pueden influir en el comportamiento ante cargas externas si la instalación se entierra en suelos inestables.

En cuanto a la durabilidad, diversos estudios han demostrado que ambas técnicas, correctamente aplicadas, pueden alcanzar una vida útil equivalente a la del tubo, superando varias décadas de servicio sin degradación significativa. La elección depende del contexto: la termofusión predomina en redes de transporte de gran diámetro, mientras que la electrofusión domina en conexiones, ramales y situaciones con restricciones de alineación.

3.6.3.3 Normativas y estándares aplicables

Las uniones por termofusión y electrofusión en PEAD están reguladas por normas internacionales que establecen criterios de diseño, ejecución y ensayo. Entre las más utilizadas se encuentran ISO 21307 para procedimientos de fusión a tope, ISO 4427

e ISO 4437 para tuberías de agua y gas, y las series ASTM F2620, F1055 y F1290 empleadas en regiones donde se adoptan estándares estadounidenses. Estas normas definen parámetros de calidad, requisitos para equipos, tolerancias dimensionales y métodos de inspección que permiten validar la integridad de las uniones, ya sea mediante ensayos destructivos, visuales o pruebas de presión.

3.6.3.4 Comportamiento de las uniones frente a esfuerzos y condiciones de operación

Las uniones soldadas en PEAD presentan un desempeño sobresaliente frente a impactos, vibraciones, cargas de tracción y variaciones térmicas. Su naturaleza monolítica elimina la posibilidad de fugas en la interfaz, lo que representa una ventaja significativa frente a juntas mecánicas. En aplicaciones sometidas a ciclos térmicos, la homogénea expansión del material reduce el riesgo de fisuración por fatiga, mientras que su resistencia al agrietamiento lento (SCG) es comparable a la del tubo original. En ambientes enterrados, la flexibilidad inherente del PEAD permite que la unión acompañe las deformaciones del terreno sin concentrar esfuerzos.

En aplicaciones mediante PHD, la termofusión es particularmente importante por su capacidad de soportar cargas de tiro distribuidas a lo largo de toda la cadena de tubería, evitando puntos débiles o discontinuidades que podrían fallar durante la instalación. La electrofusión, aunque menos utilizada para tiro principal, sigue siendo indispensable para conexiones finales, empalmes y ajustes improvisados.

3.6.3.5 Proceso de unión por electrofusión en tuberías de PEAD

La electrofusión es un método de unión de tuberías de polietileno de alta densidad (PEAD) ampliamente utilizado en redes de agua potable, gas, sistemas presurizados y aplicaciones de Perforación Horizontal Dirigida (PHD). Este procedimiento emplea accesorios con resistencias eléctricas integradas, que generan calor de manera localizada, fundiendo tanto la superficie interna del accesorio como la externa de la tubería, permitiendo la coalescencia molecular y la formación de una unión monolítica (ASTM International, 2019; ISO 21307, 2010).

3.6.3.6 Preparación del material y verificación

Antes de realizar la electrofusión, se debe verificar que la tubería y el accesorio sean compatibles en diámetro, SDR y tipo de PEAD. Los extremos de tubería deben encontrarse libres de grietas, ralladuras, deformaciones u otros defectos, y deben corresponder a la misma serie y tipo de material (PPI, 2019). La identificación correcta de tubería y accesorio es fundamental, ya que solo materiales compatibles aseguran una coalescencia molecular completa.

Todos los valores de compatibilidad y tolerancias dimensionales están definidos en normas internacionales y por el fabricante; no deben establecerse mediante estimaciones.

3.6.3.7 Preparación de la superficie

La superficie externa de la tubería donde se aplicará el accesorio se limpia cuidadosamente con un paño limpio y alcohol isopropílico o limpiadores aprobados por el fabricante. Posteriormente, se realiza un raspado superficial mediante una herramienta manual de cepillo o fresa, eliminando una capa mínima de material para garantizar que la zona de contacto esté libre de contaminantes y oxidación superficial (ISO 21307, 2010; PPI, 2019).

La profundidad de raspado, la dirección y el número de pasadas se encuentran especificadas en la normativa y en las instrucciones del fabricante.

3.6.3.8 Colocación del accesorio y alineación

El accesorio de electrofusión se coloca sobre la tubería, asegurando contacto total y centrado axial. Muchos accesorios poseen marcas guía para facilitar la colocación correcta (ASTM International, 2019).

La alineación, la presión de contacto y la posición relativa del accesorio respecto a los extremos de tubería son parámetros normados y no deben ajustarse de manera subjetiva.

3.6.3.9 Conexión eléctrica y fusión

Una vez posicionado el accesorio, se conecta a la fuente eléctrica según las instrucciones del fabricante. La corriente genera calor interno, fundiendo el material del accesorio y la superficie externa de la tubería, produciendo una coalescencia molecular homogénea (Bello, Fernández & López, 2018).

Todos los parámetros eléctricos, tiempos de fusión y secuencias están estrictamente regulados por normas (ASTM F1055, ISO 21307) y manuales del fabricante; nunca deben estimarse o aplicarse valores arbitrarios.

3.6.3.10 Enfriamiento y consolidación

Tras completar el ciclo de fusión, la unión debe permanecer inmóvil durante el tiempo de enfriamiento recomendado. Durante esta fase, el PEAD recupera su estructura semi cristalina y la unión alcanza su resistencia final (PPI, 2019).

El enfriamiento no debe acelerarse mediante métodos externos como agua o aire forzado, ya que puede generar tensiones residuales o micro fisuras en la unión.

3.6.3.11 Inspección y control de calidad

Una vez enfriada, la unión se inspecciona visualmente. Se evalúa la simetría del cordón externo, alineación axial y ausencia de defectos superficiales (ISO 21307, 2010; ASTM International, 2019). En aplicaciones críticas, pueden realizarse ensayos hidrostáticos o pruebas de integridad eléctrica, siempre siguiendo lo indicado por normas y fabricantes.

Todos los criterios de aceptación y rechazo deben consultarse en la normativa y no basarse en apreciación subjetiva.

3.6.3.12 Consideraciones finales

La electrofusión se recomienda especialmente para diámetros pequeños, empalmes en lugares confinados o cruces de PHD donde no es posible realizar una fusión a

tope. La calidad de la unión depende totalmente del cumplimiento estricto de las normas y de los procedimientos del fabricante; desviaciones en parámetros eléctricos, preparación de superficie o tiempos de enfriamiento pueden comprometer la integridad de la tubería (Bello et al., 2018; PPI, 2019).

La instalación se realizará bajo los lineamientos de la norma ASTM F1962, asegurando que el esfuerzo de tracción durante el halado no supere el límite elástico del material HDPE PE4710, garantizando así una vida útil de 50 años".

IV. INGENIERIA DEL PROYECTO

4.1 Definición del servicio

La renovación de la red de agua potable en el sector de Altamira mediante la Perforación Horizontal Dirigida (PHD) permite minimiza la interrupción del tráfico y la actividad comercial de la zona, reduce los costos de excavación y reposición de pavimento, y disminuye el impacto ambiental y social al generar menos ruido y polvo. Este proyecto se implementará de acuerdo con las normas de diseño del Instituto Nacional de Acueductos y Alcantarillados (INAA) para garantizar a la población del sector de Altamira el abastecimiento de agua potable con calidad y continuidad.

4.2 Descripción de la población objetivo

La población objetivo está comprendida por los habitantes de barrio Altamira, municipio de Managua, departamento de Managua. Es una zona urbana consolidada que presenta una densidad poblacional moderada. La población base del tramo de estudio comprende 214 conexiones domiciliarias distribuidas a lo largo de 1,392.86 metros lineales, lo que equivale a una población directamente beneficiada de 920 personas y densidad de conexión a cada 6.05 metros, esta red no tendrá cambios en el diámetro ya que se implementa como un proyecto de renovación

- Altitud: 145 m s. n. m.
- Superficie: 8.25 Ha
- Latitud: 12° 7'4.64"N
- Longitud: 86°15'7.49"O

Limita al norte con Barrio El Riguero, al este con barrio La Fuente, al sur con la Colonia Centroamérica, al oeste en planes de Altamira

- Población promedio por vivienda: Históricamente, Managua ha tenido promedios ligeramente más altos o similares a la media nacional debido a la densidad poblacional. Sin embargo, en los últimos informes de la Encuesta Continua de Hogares, la tendencia en zonas urbanas como la capital se estabiliza cerca de los 4.0 a 4.2 habitantes por hogar.

- Aspecto socioeconómico del sector de Altamira: Se caracteriza por ser una de las zonas de mayor dinamismo económico en Managua, con un perfil de usuarios de ingresos medios y altos, lo que lo convierte en uno de los sectores con mayor facturación y consumo para ENACAL.
-
- Según documentación de INIDE Managua en cifras (2008), la población del área de influencia es predominantemente joven, debido a que un 40.76 % de ellos son menores de 15 años tanto hombre como mujer, y un 59.23 %, es menor de 30 años. A partir de esta información, se determinó que la población infantil es aproximadamente un 25 % son menores de 10 años (En base del Nuevo FISE y INIDE), con lo cual infiere que es altamente vulnerable a las enfermedades de tipo infeccioso y gastrointestinal, formadas por el consumo de agua no potable.
- Situación actual sobre la morbilidad: La morbilidad está vinculada principalmente a factores ambientales y deficiencias en la red de distribución antigua; aunque es una zona urbana, las fugas en tuberías de asbesto cemento pueden permitir la infiltración de contaminantes. Las enfermedades más reportadas son las infecciones gastrointestinales y dermatológicas, cuya incidencia aumenta durante la estación lluviosa debido a la posible mezcla de aguas en tramos con roturas o baja presión.
- Las estadísticas de salud indican que las enfermedades diarreicas agudas (EDA) representan una causa importante de consulta, con una prevalencia marcada en menores de cinco años, donde la falta de acceso a agua de calidad o el almacenamiento inadecuado eleva la incidencia. Se estima que en Nicaragua la tasa de mortalidad por diarrea en zonas vulnerables puede alcanzar hasta el 24.3%, y aunque en Managua la cobertura es mayor, las enfermedades parasitarias e hídricas siguen afectando a una porción considerable de la población urbana debido a redes obsoletas.

En Nicaragua se presentan un total de 100,000 casos de EDA (Enfermedades Diarreicas Agudas) al año, teniendo el municipio de Managua con 24000 casos, un

numero alarmante de casos derivado de la precaria u obsoleta infraestructura de redes de asbestos que tratamos en este documento investigativo.

- Proyección de la demanda de Managua a 20 años: La proyección de la demanda de agua para Managua considera una tasa de crecimiento poblacional de aproximadamente el 1.4% anual

4.3 Beneficios esperados del proyecto

Los principales beneficios incluyen la mejora directa en la salud pública mediante la reducción de enfermedades de origen hídrico al eliminar puntos de infiltración y el uso de materiales inertes como el PEAD. Asimismo, se espera una disminución drástica en las fugas de agua no contabilizada, una mejora en la presión de servicio para las conexiones domiciliarias y una mayor durabilidad de la red al sustituir el asbesto cemento por tuberías de alta resistencia instaladas mediante métodos menos invasivos como la perforación horizontal dirigida.

4.4 Estudio técnico

4.4.1. Localización optima

El proyecto se encuentra en la calle Altamira, municipio de Managua, departamento de Managua

4.4.2 Macro localización

El proyecto pertenece a los sistemas de agua potable en departamento de managua, municipio Managua , capital de Nicaragua que es la mas densamente poblada del país.

Para la renovación de la red de agua potable en sector Altamira, se utiliza fuente existente laguna de Asosoca ubicada en las coordenadas 12.135673, -86.314052, esta se encuentra a una distancia de proyecto en estudio de 1,100 metros el cual se refleja en el siguiente mapa.

Figura N°9 Macro localización



Fuente: Pagina web INETER

4.4.3. Micro localización

El tramo en estudio se encuentra ubicado en sector barrio Altamira avenida las acacias 1200 metros al lago.

Figura N°10 Micro localización



Fuente: Herramienta Google earth

4.4.4. Tamaño óptimo

Para un tramo de 1,392.86 metros con 214 conexiones (una conexión cada 6.5 metros) y considerando una dotación promedio de 150-200 l/hab/día, el tamaño óptimo de la tubería principal es 150 mm de diámetro en material HDPE o PEAD. Estos diámetros permiten mantener velocidades de flujo adecuadas y presiones dentro de los rangos normativos de INAA, asegurando que el suministro llegue con fuerza suficiente a todas las acometidas domiciliarias del sector Altamira.

4.5 Ingeniería del Proyecto

- Calidad del agua potable de la fuente Asoscosca para Managua: Actualmente, la Laguna de Asoscosca es utilizada como fuente de agua potable para la ciudad, es una reserva natural con recarga hídrica, además sirve como un cuerpo de agua paisajístico y de regulación pluvial en el centro de la capital.

4.5.1 Calidad de agua de fuente Asososca

Experimenta fenómenos naturales de volteo térmico entre diciembre y enero, que cambian temporalmente su color a verde-celeste y generan olor a azufre, requiriendo monitoreo constante por su origen volcánico

4.5.3 Costo de operación

El costo de operación incluye principalmente el consumo de energía eléctrica para el bombeo, el costo de productos químicos para desinfección (hipoclorito de calcio) y los gastos de mantenimiento preventivo y correctivo de las redes. Además, se deben considerar los costos administrativos y de gestión comercial, los cuales, sumados a la depreciación de los activos, determinan el punto de equilibrio necesario para que el servicio sea autosostenible sin depender exclusivamente de subsidios estatales.

4.5.4 Tarifa

La tarifa del servicio en Managua es estratificada, clasificando a los usuarios en categorías como subsidiados, domiciliarios y residenciales/comerciales. En el sector de Altamira, la mayoría de los usuarios caen en categorías domiciliarias de ingresos medios o comerciales, donde los costos por metro cúbico han mostrado una tendencia al alza (incremento del 18% en períodos recientes), con cargos variables que aumentan según el rango de consumo mensual para incentivar el ahorro del recurso.

Para la determinación de la tarifa que se usará en el proyecto es necesario conocer los costos totales de funcionamiento del sistema, así como los costos de administración del mismo, los cuales se dividirán entre la producción mensual de agua destinada al consumo de la población. A continuación, se muestra lo siguiente.

Cálculo del Vm³ (Demanda anual de agua potable)

Población: 920 habitantes

Conexiones domiciliarias :214

Índice poblacional: 920 habitantes/214 viviendas: 4.3 **Hab/viv**

Dotación por persona por viv. (m³/mes)

Dotación:60 lppd

Para el cálculo de dotación por persona por vivienda se multiplico por 30.5 días la dotación y se divide en 1000 para pasar de litros a metros cúbicos.

Dotación por persona por viv. (m³/mes): (60 lppd x 30.5 días/mes) /1000 lit/m³: **1.83 m³/mes**

Porcentaje de servicio de conexiones dom.=100 %

Como el porcentaje de servicio de conexiones es del 100 % entonces la población a servir será de 920 habitantes.

Demanda de agua anual m³ anuales=(Índice poblacional x cantidad de viviendas x dotación por persona por viv (m³/mes))x12 meses/año.

Figura Cálculo del Vm³ (Demanda anual de agua potable)

Poblacion	2024	=	920
Usuarios por conexion domiciliar		=	4.3
Dotación por persona por viv. (m³/mes)		=	1.83
Porcentaje de servicio por conexion domiciliar		=	100.00%
Demanda de agua M3 anual		=	20203.2

Fuente: Elaboración propia

Índice de cobranza Ic

Se calcula dividiendo la colecta entre la facturación. Y se establece no menor de 95%.

Por tanto, se tiene que el CP es igual a:

CT= 280,794.17

Vm³= 20,203.20

Ic= 95 %

CP (C\$/m³) = 280,794.17 / (20,203.20 x 95 %) =**14.63**

Tarifa (C\$) = Índice poblacional x Dotación por persona por viv. (m³/mes) x CP (C\$/m³)

Tabla N° 1 Cálculo de tarifa

Tarifa	
CP (C\$/m³)=	16.35
Tarifa (C\$) =	128.63

Fuente: Elaboración propia

4.5.6 Costos de funcionamiento

Los costos de operación incluyen los costos de la desinfección del agua, mantenimiento preventivo y correctivo del sistema y los costos por pago del personal de operación y mantenimiento del sistema de agua potable (ver tablas 9, 10 y 11).

Considerando la suma de costo de administración (ver tabla 9), costo de mantenimiento (ver tabla 10) y costo de operación se tienen los costos totales C\$280,794.175 córdobas (ver tabla 12).

Tabla N°2 Costos totales

Concepto	C\$ Mensual	C\$ Anual
Costo de Administración e imprevistos	17,336.72	208,040.70
Costo de Mantenimiento en red de distribución	7,115.57	65,741.54
Costo de Operación, insumos y análisis Físico Químico	7,011.93	7,011.93
Total	31,464.23	280,794.17

Fuente: Elaboración propia

4.6 Estudio económico

En este capítulo se presenta el estudio socioeconómico del proyecto de renovación de la red de agua potable en el barrio Altamira, municipio de Managua. Dicho análisis se centra en contrastar los beneficios generados por la obra frente a los costos que esta representa para la sociedad; el objetivo es determinar el impacto directo sobre el bienestar social de la comunidad.

Es fundamental considerar que el bienestar de los protagonistas depende directamente de la disponibilidad y acceso a servicios básicos de calidad. Por ello,

este estudio busca validar cómo la ejecución del proyecto actuará como un motor para elevar la calidad de vida de los habitantes del sector.

4.6.1 Período horizonte del proyecto

Se estima que el proyecto tendrá una vida útil de 20 años, fundamentada en la durabilidad de los componentes del sistema de abastecimiento: captaciones superficiales, líneas de conducción, tanques de almacenamiento y la red de distribución. Durante este periodo, se prevé satisfacer plenamente las demandas de la población y fomentar el desarrollo **comunitario**. Esto se logrará mediante la erradicación de focos de enfermedades y la optimización de los ciclos de recolección de agua, eliminando así los factores críticos que actualmente afectan a los habitantes.

4.6.2 Tipo de moneda

La moneda a utilizar será el córdoba, moneda oficial de Nicaragua, es importante señalar que los gastos fueron estimados en córdobas y todo lo referente al presupuesto de construcción es en córdobas.

4.6.3 Inversión

Se cuantificaron todas las inversiones necesarias para la implementación y puesta en marcha del proyecto renovación de red de agua potable. Estas inversiones están divididas en inversiones fijas y diferidas, en la tabla se puede apreciar que el costo de inversión fija del método PHD es un 18% mayor que el método tradicional de zanja abierta, pero en este documento investigativo se indicará porque es más viable el último sistema (ver tabla 13).

Tabla N°3 Inversión total

Concepto	Monto C\$ Zanja Abierta	Monto C\$ método PHD
Inversiones fijas	13,061,985.80	15,438,128.73
Inversiones diferidas	5,224,794.32	5,877,961.89
Total	18,286,780.12	21,316,090.63

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se muestra el detalle de la inversión tanto en activos fijos como en activos diferidos y capital de trabajo.

4.6.4 Activos fijos

Los activos fijos se definen como los bienes que una empresa utiliza de manera continua en el curso normal de sus operaciones, representan al conjunto de servicios que se recibirán en el futuro a lo largo de la vida útil de un bien adquirido. Los activos fijos van estar comprendidos por los terrenos, y las construcciones: obra de captación, línea de conducción, tanque y la red con las conexiones domiciliarias.

- **Desglose de costos**

Tabla N°4 Desglose de los costos Alternativa Excavación Zanja Abierta

ITEM/SUB ITEM	DESCRIPCIÓN	COSTO TOTAL US\$
SECTOR ALTAMIRA (PALI - CALLE PRINCIPAL) L=1,392.86ml		13,061,985.80
01	OBRAS PRELIMINARES	
02	REMOCION DE CARPETA DE RODAMIENTO	265,839.71
2.1	Comprende la remoción del asfalto o concreto u otro material, realizando los cortes en carpeta de rodamiento, incluyendo el desalojo la base granular.	265,839.71
2.2	REPOSICION DE LA CARPETA DE RODAMIENTO NUEVA	1,102,078.87
2.3	Carpeta de concreto asfáltico mezclado en planta. incluye: riego de impregnación, concreto asfáltico, gravilla para sello, barrido de la base, la carpeta y el sello. incluye: materiales, - equipo para tendido y compactación, mano de obra y acarreo primer kilómetro de concreto asfáltico, colocación de la base granular y las pruebas que se requieran para el control de resistencias.	1,102,078.87
04	SEÑALIZACION	231,983.19
4.1	Comprende el uso de vallas metálicas, mallas plásticas, señalización vertical para el uso del desvío de tráfico, así como el personal para el control de tráfico.	231,983.19
05	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION DE EQUIPOS	54,825.59

	Comprende la movilización y desmovilización de los equipos necesarios para ejecutar las obras.	54,825.59
06	MOVIMIENTO DE TIERRA	628,319.40
07	Trazo de Niveles y Replanteo del Proyecto	0.00
7.1	Trazo de niveles y replanteo permanente del área donde se instalarán las tuberías PEAD, se incluye Cuadrilla de Topografía permanente durante la obra.	277,547.93
8.1	Excavación mecánica de zanjas para tuberías, con retroexcavadora, en terreno mixto, medido sobre perfil. Rango de Profundidad 0.00m a 1.50m. (Ver Planos y E.T)	350,771.47
09	CONSTRUCCION CAMA/RELLENO GRAVILLA PARA TUBERIAS, D<=5 Km	114,162.16
9.1	Construcción de cama de tuberías con el material adecuado (colchón de grava de 3/4", grava de 1/2" y arena Motastepe que pase el tamiz #4), con un grado de compactación superior al 90% del Ensayo Próctor Normal, con una distancia de transporte máxima de 5 km. (Ver Planos y E.T)	114,162.16
10	RELLENO, COMPACTADO MECANICO ZANJAS, MATERIAL GRANULAR D<=5Km	393,243.53
10.1	Relleno y compactado con medios mecánicos de zanjas con material granular, procedente de préstamos o de las propias excavaciones, transportado desde una distancia máxima de 5 km. (Ver Planos y E.T)	393,243.53
11	DESALOJO DE MATERIAL SOBRANTE Y DE DESECHO, D<=5Km	53,126.59
11.1	Desalojo de material sobrante y de desecho producto de la excavación y relleno, transportado desde una distancia máxima de 5 km.	53,126.59
12	SISTEMA DE RED AGUA POTABLE, TUBERIAS PEAD	9,491,794.87
13	TUBERÍA PEAD 100, Ø 150 MM, 1,0 MPA, COLOCADA	9,491,794.87
13.1	Suministro e Instalación de Tubería de polietileno de alta densidad de 150 mm de diámetro y 1,0 MPa de presión de trabajo y unión por manguito/sodadura a tope; incluyendo piezas especiales, valvulas, accesorios, materiales a pie de obra, montaje, colocación y prueba hidraulicas y puesta en marcha, asi como otro cualquier requerimiento necesario para su buen funcionamiento. Incluye sustitución y retiro de tuberías existentes, asi como las acometidas afectadas. (Ver Planos y E.T)	9,491,794.87

14	HIDRANTES	601,121.87
14.1	HIDRÓMETRO Ø 150 MM C/SOLENOIDE, CONTADOR, RED/LIM, INST	601,121.87
14.2	Suministro e Instalación de Hidrómetro Reductor de Presión y de Control (limitador de paleta) de Caudal, 2W. Accionamiento Magnético (M0) / Mecánico (W0). Con Selector Manual, Piloto y Accesorios Plásticos (K). Válvula hidráulica de diafragma diámetro 150 mm con contador Woltman de eje vertical y transmisión mecánica o magnética, con solenoide para apertura y cierre a distancia, con regulador de presión y limitador de caudal, embreada, presión de trabajo hasta 1,0 MPa, cuerpo y cubierta de fundición recubierta de poliéster, diafragma de caucho natura NR, tornillería y resorte de acero inoxidable, cuerpo del contador en polipropileno con pivotes en carburo de tungsteno, instalada. (Ver Planos y E.T)	601,121.87
15	LIMPIEZA FINAL Y ENTREGA	125,490.02
15.1	Limpieza Final y Entrega.	125,490.02

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°5 Desglose de los costos Alternativa perforación horizontal dirigida

ITEM/SUB ITEM	DESCRIPCIÓN	COSTO TOTAL NIO C\$
	SECTOR ALTAMIRA (PALI - CALLE PRINCIPAL) L=1,392.86ml	15,438,128.73
1	INGENIERIA MOVILIZACION Y PRELIMINARES	
1.1	Movilización de Equipo de Perforacion, Sistema de Lodos, y Personal Especializado al Sitio	163,570.35
1.2	Trazado Topografico, Deteccion de Obras Subterranas Existentes con Georradar y Diseño de Perfil de Perforacion.	259,443.71
1.3	Excavacion de Fosa de Entrada(lanzamiento) y Excavacion de Fosa de Salida(recepcion), con las medidas de, 2m x 1,5 x2m	2,842.08
		425,856.14

2	SUMINISTRO Y PREPARACION DE TUBERIA DE 180MM HDPE	
2.1	Suministro de Tuberia de 180mm de HDPE de Alta Densidad, Incluye Flete a Pie de Obra	5,480,308.09
2.2	Termofusion a Tope de Tuberia para Formacion de Sartas Largas, Incluye Equipo de Fusion y Tecnico Certificado	1,342,434.83
2.3	Union de Tuberia en Fosas por el Metodo Juntas de Electrofusion	43,825.63
		6,866,568.54
3	OPERACIÓN DE PERFORACION Y TRACCION	
3.1	Perforacion Piloto: Ejecucion del Tunel Guia con Digitrak para control de Pendiente y Direccion.	2,639,995.00
3.2	Escariado (Pre Reaming): Ampliacion del Tunel de 10 a 12 Pulgadas Mediante Rimas Cortadoras Según Tipo de Suelo.	2,660,769.07
3.3	Traccion (Pull Back): Instalacion de la Tuberia de HDPE Mediante Jalado con Cabeza de Tiro y Destorcedor	1,284,229.23
		6,584,993.30
4	GESTION DE FLUIDOS Y LIMPIEZA	
4.1	Preparacion y Bombeo de Fluidos de Perforacion, (Bentonita mas Polimeros) usados en Estabilidad del Tunel.	1,060,285.58
4.2	Recoleccion, Succion con Vactor y Disposicion Final de Lodos Sobrantes en Sitios Autorizados	283,798.03
4.3	Restauracion de Pavimento Afectado por las Fosas de Trabajo	54,176.21
		1,398,259.82
5	PRUEBAS Y ENTREGA	
5.1	Prueba Hidrostatica de la Tuberia Instalada Según Presion de Trabajo.	111,139.77
5.2	Limpieza de Area de Trabajo	51,311.17
		162,450.94

Fuente: Elaboración propia

4.6.5 Activos diferidos

Para el arranque del proyecto es necesario gestionar los documentos legales y permisos del proyecto, tener los estudios de pre inversión realizados y contar personal calificado, en la siguiente tabla se observa el costo de cada actividad.

Tabla N°6 Activos diferidos

Concepto	%	Costo Z.A c\$	Costo Metodo PHD c\$
Administración de obra	5%	653,099	771,906.44
Supervisión técnica	5%	653,099	771,906.44
Imprevistos	8%	1,044,959	1,235,050.30
Estudios y diseño	7%	914,339	1,080,669.01
Gastos legales y permisos	15%	1,959,298	2,018,429.71
Total		5,224,794	5,877,962

Fuente: Elaboración propia

4.7 Costos de operación

Los costos de operación anual se han estimado para el año 0 es decir el año de inversión , se utilizará una tasa de inflación acumulada anual del 2.7 % correspondiente al año 2025 (ver tabla 18), se aplicó la ecuación geométrica indicada en la ecuación 1 de la pág.6.

Tabla N°7 Costos de operación

Año	Costo de Administración C\$	Costo de Mantenimiento C\$	Costo de operación C\$	Total, C\$
2025	-	-	-	-
2026	208,040.70	65,741.54	7,011.93	280,794.18
2027	213,657.80	67,516.56	7,201.25	288,375.62

2028	219,426.56	69,339.51	7,395.69	296,161.76
2029	225,351.08	71,211.68	7,595.37	304,158.13
2030	231,435.56	73,134.39	7,800.45	312,370.40
2031	237,684.32	75,109.02	8,011.06	320,804.40
2032	244,101.79	77,136.97	8,227.36	329,466.12
2033	250,692.54	79,219.66	8,449.49	338,361.70
2034	257,461.24	81,358.59	8,677.63	347,497.47
2035	264,412.70	83,555.28	8,911.93	356,879.90
2036	271,551.84	85,811.27	9,152.55	366,515.66
2037	278,883.74	88,128.17	9,399.67	376,411.58
2038	286,413.60	90,507.63	9,653.46	386,574.69
2039	294,146.77	92,951.34	9,914.10	397,012.21
2040	302,088.73	95,461.03	10,181.78	407,731.54
2041	310,245.12	98,038.47	10,456.69	418,740.29
2042	318,621.74	100,685.51	10,739.02	430,046.28
2043	327,224.53	103,404.02	11,028.98	441,657.53
2044	336,059.59	106,195.93	11,326.76	453,582.28
2045	345,133.20	109,063.22	11,632.58	465,829.00
2046	354,451.80	112,007.93	11,946.66	478,406.38

Fuente: Elaboración propia

4.8 Ingresos

En Nicaragua existe un sistema de organización para la administración del agua que son los Comités de Abastecimiento de Agua Potable y Saneamiento (CAPS), la tarifa

se calculará dividiendo los costos totales de funcionamiento del proyecto renovación red agua potable Altamira

Para este análisis se estima un costo por metro cubico de CP: C\$ 14.63, consumo promedio por mes por cada habitante de 1.83 metros cúbicos, tasa de crecimiento poblacional del 1.56% para Managua para un total de 214 conexiones domiciliarias

Tabla N°8 Facturación anual

Año	Población	Monto C\$
2026	920	295,572.82
2027	935	300,391.94
2028	950	305,211.06
2029	965	310,030.18
2030	981	315,170.58
2031	997	320,310.98
2032	1013	325,451.37
2033	1029	330,591.77
2034	1046	336,053.44
2035	1063	341,515.11
2036	1080	346,976.78
2037	1097	352,438.46
2038	1115	358,221.40
2039	1133	364,004.35
2040	1151	369,787.29
2041	1169	375,570.24
2042	1188	381,674.46
2043	1207	387,778.68
2044	1226	393,882.90
2045	1246	400,308.40
2046	1266	406,733.90

Fuente: Elaboración propia

4.9 Análisis de beneficio

Dentro de los principales beneficios generados por el proyecto se ha establecido la reducción de enfermedades de tipo respiratorio e infeccioso debido a la eliminación del **asbesto** que es muy nocivo para la salud. Se espera una reducción en porcentaje en el gasto que tienen las familias a la hora de enfermarse, según datos del Ministerio de Salud (MINSA) en promedio una familia gasta aproximadamente C\$ 8,000.00 córdobas anuales cada vez que se enferman, según la Organización Mundial de la Salud (OMS) cuando un sistema de abastecimiento de agua potable de este tipo, se establece que los beneficios pueden variar desde un 6 a un 90 %, si se asume el rango menor del 50 % se puede establecer el siguiente ahorro como beneficio, el porcentaje de la población que se enferma en el sector de Altamira .

Tabla N°9 Ahorro en gastos de enfermedades

Año	Población proyectada	% población que se enferma	Población que se enferma	Proyección de costo anual por enfermedad (C\$)	Gastos totales	Ahorro generado	Ahorro
2025	0	0	0	0	0		
2026	920	60.00%	552	8,000.00	4,416,000.00	50.00%	2,208,000.00
2027	935	60.00%	561	8,000.00	4,488,000.00	50.00%	2,244,000.00
2028	950	60.00%	570	8,000.00	4,560,000.00	50.00%	2,280,000.00
2029	965	60.00%	579	8,000.00	4,632,000.00	50.00%	2,316,000.00
2030	981	60.00%	589	8,000.00	4,712,000.00	50.00%	2,356,000.00
2031	997	60.00%	599	8,000.00	4,792,000.00	50.00%	2,396,000.00
2032	1013	60.00%	608	8,000.00	4,864,000.00	50.00%	2,432,000.00
2033	1029	60.00%	618	8,000.00	4,944,000.00	50.00%	2,472,000.00
2034	1046	60.00%	628	8,000.00	5,024,000.00	50.00%	2,512,000.00
2035	1063	60.00%	638	8,000.00	5,104,000.00	50.00%	2,552,000.00
2036	1080	60.00%	648	8,000.00	5,184,000.00	50.00%	2,592,000.00
2037	1097	60.00%	659	8,000.00	5,272,000.00	50.00%	2,636,000.00
2038	1115	60.00%	669	8,000.00	5,352,000.00	50.00%	2,676,000.00
2039	1133	60.00%	680	8,000.00	5,440,000.00	50.00%	2,720,000.00
2040	1151	60.00%	691	8,000.00	5,528,000.00	50.00%	2,764,000.00
2041	1169	60.00%	702	8,000.00	5,616,000.00	50.00%	2,808,000.00
2042	1188	60.00%	713	8,000.00	5,704,000.00	50.00%	2,852,000.00
2043	1207	60.00%	725	8,000.00	5,800,000.00	50.00%	2,900,000.00
2044	1226	60.00%	736	8,000.00	5,888,000.00	50.00%	2,944,000.00

2045	1246	60.00%	748	8,000.00	5,984,000.00	50.00%	2,992,000.00
2046	1266	60.00%	760	8,000.00	6,080,000.00	50.00%	3,040,000.00

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 10, se agrupan los beneficios intangibles esperados con la realización del proyecto renovación red agua potable Como se aprecia en las columnas, todos los beneficios tales como: Facturación Anual por cada vivienda y Ahorro por enfermedad.

Tabla N°10 Flujo de beneficios del proyecto

Año	Facturación Anual por cada vivienda C\$	Ahorro por enfermedad (C\$)	Total (C\$)
2025	0	0	0
2026	295,572.82	2,208,000.00	2,503,572.82
2027	300,391.94	2,244,000.00	2,544,391.94
2028	305,211.06	2,280,000.00	2,585,211.06
2029	310,030.18	2,316,000.00	2,626,030.18
2030	315,170.58	2,356,000.00	2,671,170.58
2031	320,310.98	2,396,000.00	2,716,310.98
2032	325,451.37	2,432,000.00	2,757,451.37
2033	330,591.77	2,472,000.00	2,802,591.77
2034	336,053.44	2,512,000.00	2,848,053.44
2035	341,515.11	2,552,000.00	2,893,515.11
2036	346,976.78	2,592,000.00	2,938,976.78
2037	352,438.46	2,636,000.00	2,988,438.46
2038	358,221.40	2,676,000.00	3,034,221.40
2039	364,004.35	2,720,000.00	3,084,004.35
2040	369,787.29	2,764,000.00	3,133,787.29
2041	375,570.24	2,808,000.00	3,183,570.24
2042	381,674.46	2,852,000.00	3,233,674.46
2043	387,778.68	2,900,000.00	3,287,778.68
2044	393,882.90	2,944,000.00	3,337,882.90
2045	400,308.40	2,992,000.00	3,392,308.40

Fuente: Elaboración propia

4.10 Tasa mínima atractiva de rendimiento (TREMA)

Dado que este proyecto se encuentra dentro de la cartera de proyectos sociales la TREMA que se usará será la Tasa Social de Descuento para Nicaragua, la cual está estimada en 8 %, según el Sistema Nacional de Inversión Pública del país (Vera Espino Cruz, Martha Prado Rosales y Roberto Carlos Jirón Rizo, 2011, p. 81)

4.11 Flujo de caja del proyecto a precios económicos

El flujo de caja a precios económicos se obtiene considerando la inversión, los beneficios del proyecto y los costos de operación del mismo (ver tabla 22).

Tabla N°11 Flujo de caja alternativa Zanja Abierta

Año	Beneficios	Gastos	Utilidades	Inversión	Flujo de caja
2025	0	0	0	18,286,780.12	-18,286,780.12
2026	2,503,572.82	313,726.10	2,189,846.72		2,189,846.72
2027	2,544,391.94	331,610.00	2,132,474.33		2,132,474.33
2028	2,585,211.06	350,514.00	2,153,101.10		2,153,101.10
2029	2,626,030.18	370,494.00	2,172,651.86		2,172,651.86
2030	2,671,170.58	391,614.00	2,195,298.01		2,195,298.01
2031	2,716,310.98	413,938.00	2,216,740.16		2,216,740.16
2032	2,757,451.37	437,534.00	2,232,910.31		2,232,910.31
2033	2,802,591.77	462,475.00	2,251,735.46		2,251,735.46
2034	2,848,053.44	488,837.00	2,269,374.99		2,269,374.99
2035	2,893,515.11	516,702.00	2,285,511.53		2,285,511.53
2036	2,938,976.78	546,155.00	2,300,060.06		2,300,060.06
2037	2,988,438.46	577,287.00	2,316,929.59		2,316,929.59
2038	3,034,221.40	610,195.00	2,328,258.51		2,328,258.51
2039	3,084,004.35	644,977.00	2,341,713.43		2,341,713.43
2040	3,133,787.29	681,742.00	2,353,185.34		2,353,185.34
2041	3,183,570.24	720,603.00	2,362,561.26		2,362,561.26

2042	3,233,674.46	761,679.00	2,369,957.56		2,369,957.56
2043	3,287,778.68	805,096.00	2,379,012.87		2,379,012.87
2044	3,337,882.90	850,988.00	2,381,593.17		2,381,593.17
2045	3,392,308.40	899,495.00	2,385,793.85		2,385,793.85

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°12 Flujo de caja alternativa Zanja Abierta

Año	Beneficios	Gastos	Utilidades	Inversión	Flujo de caja
2025	0.00	0.00	0.00	21,316,090.63	-21,316,090.63
2026	2,503,572.82	313,726.10	2,189,846.72		2,189,846.72
2027	2,544,391.94	331,610.00	2,132,474.33		2,132,474.33
2028	2,585,211.06	350,514.00	2,153,101.10		2,153,101.10
2029	2,626,030.18	370,494.00	2,172,651.86		2,172,651.86
2030	2,671,170.58	391,614.00	2,195,298.01		2,195,298.01
2031	2,716,310.98	413,938.00	2,216,740.16		2,216,740.16
2032	2,757,451.37	437,534.00	2,232,910.31		2,232,910.31
2033	2,802,591.77	462,475.00	2,251,735.46		2,251,735.46
2034	2,848,053.44	488,837.00	2,269,374.99		2,269,374.99
2035	2,893,515.11	516,702.00	2,285,511.53		2,285,511.53
2036	2,938,976.78	546,155.00	2,300,060.06		2,300,060.06
2037	2,988,438.46	577,287.00	2,316,929.59		2,316,929.59
2038	3,034,221.40	610,195.00	2,328,258.51		2,328,258.51
2039	3,084,004.35	644,977.00	2,341,713.43		2,341,713.43
2040	3,133,787.29	681,742.00	2,353,185.34		2,353,185.34
2041	3,183,570.24	720,603.00	2,362,561.26		2,362,561.26
2042	3,233,674.46	761,679.00	2,369,957.56		2,369,957.56
2043	3,287,778.68	805,096.00	2,379,012.87		2,379,012.87

2044	3,337,882.90	850,988.00	2,381,593.17		2,381,593.17
2045	3,392,308.40	899,495.00	2,385,793.85		2,385,793.85

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°13 Resultados del VANE y TIRE alternativa excavación Zanja Abierta

TSD =	8.00%
VANE C\$	3,770,503.44
TIRE	10.60%

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°14 Resultados del VANE y TIRE alternativa Perforación Horizontal dirigida

TSD =	8.00%
VANE C\$	741,192.94
TIRE	8.45%

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°15 Resultados de R_{B/C} de las dos alternativas

	ZA	PHD
VANE INGRESOS	C\$ 27,627,754.53	C\$ 27,627,754.53
VANE EGRESOS	C\$ 4,771,965.39	C\$ 4,771,965.39
R B/C	1.19	1.06

Fuente: Elaboración propia

$$R_{B/C} = \frac{(C\$ 27,627,754.53)}{(C\$ 4,771,965.39 + C\$ 18,286,780.11)} = 1.19$$

$$R_{B/C} = \frac{(C\$ 27,627,754.53)}{(C\$ 4,771,965.39 + C\$ 21,316,090.62)} = 1.06$$

4.12 Evaluación socio-económico del proyecto

La evaluación del flujo de caja a precios económicos muestra que utilizando la tasa social de descuento (TSD) de 8 %, el proyecto tiene un valor actual neto de C\$ 3,770,503.44 & 741,192.94 córdobas para la alternativa zanja abierta y método PHD respectivamente. Este valor es positivo por lo que el proyecto es viable desde el punto de vista económico.

La tasa interna de retorno (TIRE) del flujo de caja económico del proyecto muestra un valor de 10.07 % y 8.45 % los cuales superan el 8 % de la tasa social de descuento (TSD), por lo que el proyecto puede aceptarse como beneficioso desde el punto de análisis económico. La relación beneficio costo es mayor que 1 > 1.19 y 1 > 1.05 por lo tanto, el proyecto se acepta.

Tabla N°16 Comparativa de Costos y Factibilidad

Costos directos	Zanja Abierta (USD 13,061,951.18)	Perforación Horizontal (USD 15,294,454.691)
Inversión	Más económica (Base)	17,09% más costosa
Impacto Social	Alto (Ruido, tráfico, polvo)	Mínimo
Restauración	Costosa (Asfalto, banquetas)	Casi nula
Velocidad	Lenta (Excavación + Relleno)	Rápida (Ejecución directa)

Fuente: Elaboración propia

Criterios y condiciones para utilizar el método Zanja Abierta

A pesar de ser más barato, solo te la recomiendo si se cumplen estas condiciones:

- Zona Rural o Despoblada: Si no hay tráfico vehicular ni peatonal que afecte.
- Suelo sin interferencias: Si tienes la seguridad de que no hay otras tuberías o cables cruzando el camino.
- Sin pavimentación existente: Si el terreno es tierra natural y no tendrás que pagar por reposición de carpeta asfáltica premium (que a veces no se incluye correctamente en el presupuesto inicial).

Criterios y condiciones para utilizar el método Zanja Abierta

Aunque el costo es mayor, el PHD suele ser la opción ganadora en entornos urbanos por lo siguiente:

- **Costos Ocultos:** En zanja abierta, a menudo surgen costos extra por rotura de servicios no detectados o multas por cierre de vialidades. La PHD reduce este riesgo distribuido.
- **Opinión Pública:** Si la obra es en una zona comercial o residencial, el "ahorro" de 60,963 mil dólares se puede perder rápidamente en quejas ciudadanas o retrasos por permisos municipales, daños de infraestructuras soterradas.
- **Preservación de Infraestructura:** No dañas la base del pavimento existente, lo que garantiza que la calle no sufra hundimientos futuros.
- **Análisis del sobrecoste**

El sobrecosto del 17.09% se compensa con la eliminación de trabajos de bacheo, la reducción drástica en tiempos de ejecución y la mitigación de riesgos de daños a terceros.

Mitigación de Conflictos Sociales y Comerciales

En una zona densa, abrir una zanja de 180 mm implica bloquear accesos a viviendas y comercios.

- **Zanja Abierta:** Genera lucro cesante en negocios locales, quejas vecinales y posible resistencia civil.
- **PHD:** La actividad se concentra en puntos específicos (pozos de entrada y salida), manteniendo la vida urbana casi intacta.

- **Ahorro en Reposición de Pavimento y Servicios**

En zonas urbanas, el subsuelo está cargado de obras subterráneas como, cables, tuberías antiguas y otros

- **Riesgo de Rotura:** La excavación mecánica en zanja abierta tiene una alta probabilidad de romper servicios existentes no catastrados (fibra óptica, gas, agua), lo que dispararía tus costos de reparación y multas.
- **Acabados:** El costo de reponer asfalto o concreto hidráulico con las especificaciones municipales suele ser muy elevado. El PHD evita destruir la carpeta de rodamiento.

Tabla N°17 Comparativa de Impacto Urbano.

Factor de riesgo	Zanja Abierta	Perforación Dirigida (PHD)
Tráfico Vehicular	Cierres totales o parciales prolongados	Afectación mínima en puntos clave
Seguridad Peatonal	Alto riesgo de caídas y accidentes	Área de trabajo confinada y segura
Tiempo de ejecución	Semanas (Excavar, colocar, rellenar, compactar, pavimentar)	Días (Perforar y halar tubería)
Gestión de Residuos	Gran volumen de tierra y escombros a remover.	Mínimo residuo (lodos de perforación)

Fuente: Elaboración propia

4.13 Precios unitarios alternativa zanja abierta

Tabla N°18 Precios Unitarios

Descripcion	Unidad	Cantidad	Costo Directo \$		Materiales \$		Mano de Obra \$		Transporte/ Equipos	
			Unitario	Total	Unitario	Total	Unitario	Total	Unitario	Total
OBRAS PRELIMINARES										
REMOCION DE CARPETA DE RODAMIENTO										
Comprende la remoción del asfalto o concreto u otro material, realizando los cortes en carpeta de rodamiento, incluyendo el desalojo la base granular.	M2	1,114.29	4.46	4,969.73	1.25	1,392.86	0.47	523.72	2.74	3,053.15
Sub-Total		1,114.29	4.46	4,969.73	1.25	1,392.86	0.47	523.72	2.74	3,053.15
Prestaciones Sociales.	%	41.16%						215.56		
Costo Total \$	MI		5,185.30							
Costo Unitario Directo \$	MI		4.65							
Costos Indirectos y Utilidad \$	MI	40%	1.86							
Costo Unitario Total \$	MI		6.51							
Descripcion	Unidad	Cantidad	Costo Directo \$		Materiales \$		Mano de Obra \$		Transporte/ Equipos	
			Unitario	Total	Unitario	Total	Unitario	Total	Unitario	Total
REPOSICION DE LA CARPETA DE RODAMIENTO NUEVA										
Carpeta de concreto asfáltico mezclado en planta . incluye: riego de impregnación FM-1 a razón de 1.5 l/m riego de liga FR-3 a razón de 0.7 l/m , concreto asfáltico No. 6 riego de sello FR-3 a razón de 1.0 l/m , gravilla para sello, barrido de la base, la carpeta y el sello. incluye: materiales, - equipo para tendido y compactación, mano de obra y acarreo primer kilómetro de concreto asfáltico b) de 7 cm. de espesor. Asi mismo, incluye la colocación de la base granular y las pruebas que se requieran para el control de resistencias.	M2	1114.29	17.40	19,388.65	11.48	12,792.05	4.62	5,148.02	1.30	1,448.58
Sub-Total		1114.29	17.39	19,377.50	11.48	12,792.05	4.62	5,148.02	1.30	1,448.58
Prestaciones Sociales.	%	41.16%						2,118.92		

Costo Total \$	MI		21,496.43							
Costo Unitario Directo \$	MI		19.29							
Costos Indirectos y Utilidad \$	MI	40%	7.72							
Costo Unitario Total \$	MI		27.01							
Descripcion	Unidad	Cantidad	Costo Directo \$		Materiales \$		Mano de Obra \$		Transporte/ Equipos	
			Unitario	Total	Unitario	Total	Unitario	Total	Unitario	Total
SEÑALIZACION										
Comprende el uso de vallas metalicas, mallas plasticas, señalizacion vertical para el uso del desvio de trafico asi como el personal para el control de trafico.	GLB	1	3570	3570	1050	1050	2320	2320	200	200
Sub-Total		1	3570	3570	1050	1050	2320	2320	200	200
Prestaciones Sociales.	%	41.16%						954.91		
Costo Total \$	MI		4,524.91							
Costo Unitario Directo \$	MI		4,524.91							
Costos Indirectos y Utilidad \$	MI	40%	1,809.96							
Costo Unitario Total \$	MI		6,334.88							
Descripcion	Unidad	Cantidad	Costo Directo \$		Materiales \$		Mano de Obra \$		Transporte/ Equipos	
			Unitario	Total	Unitario	Total	Unitario	Total	Unitario	Total
MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION DE EQUIPOS										
Comprende la movilizacion y desmovilizacion de los equipos necesarios para ejecutar las obras.	GLB	1	1020	1020	0	0	120	120	900	900
Sub-Total		1	1020	1020	0	0	120	120	900	900
Prestaciones Sociales.	%	41.16%						49.39		
Costo Total \$	MI		1,069.39							
Costo Unitario Directo \$	MI		1,069.39							
Costos Indirectos y Utilidad \$	MI	40%	427.76							
Costo Unitario Total \$	MI		1,497.15							

Descripcion	Unidad	Cantidad	Costo Directo \$	Materiales \$	Mano de Obra \$	Transporte/ Equipos
-------------	--------	----------	------------------	---------------	-----------------	---------------------

			Unitario	Total	Unitario	Total	Unitario	Total	Unitario	Total
MOVIMIENTO DE TIERRA										
Trazo de Niveles y Replanteo del Proyecto										
Trazo de niveles y replanteo permanente del área donde se instalarán las tuberías PEAD, se incluye Cuadrilla de Topografía permanente durante la obra.	GLB	1	4,290.00	4,290.00	390.00	390.00	2,730.00	2,730.00	1,170.00	1,170.00
Excavación mecánica de zanjas para tuberías, con retroexcavadora, en terreno mixto, medido sobre perfil. Rango de Profundidad 0.00m a 1.50m. (Ver Planos y E.T)	M3	1337.15								
Sub-Total		1	4290	4,290.00	390.00	390.00	2,730.00	2,730.00	1,170.00	1,170.00
Prestaciones Sociales.	%	41.16%						1,123.67		
Costo Total \$	MI		5,413.67							
Costo Unitario Directo \$	MI		5,413.67							
Costos Indirectos y Utilidad \$	MI	40%	2,165.47							
Costo Unitario Total \$	MI		7,579.14							
Sub-Total		1337.15	4.45	5,950.32	-	-	1.62	2,166.18	2.83	3,784.13
Prestaciones Sociales.	%	41.16%						891.60		
Costo Total \$	MI		6,841.92							
Costo Unitario Directo \$	MI		5.12							
Costos Indirectos y Utilidad \$	MI	40%	2.05							
Costo Unitario Total \$	MI		7.16							
Descripcion	Unidad	Cantidad	Costo Directo \$		Materiales \$		Mano de Obra \$		Transporte/ Equipos	
			Unitario	Total	Unitario	Total	Unitario	Total	Unitario	Total
CONSTRUCCION CAMA/RELLENO GRAVILLA PARA TUBERIAS, D<=5 Km										
Construcción de cama de tuberías con el material adecuado (colchón de grava de 3/4", grava de 1/2" y arena Motastepe que pase el tamiz #4), con un grado de compactación superior al 90% del Ensayo Próctor Normal, con una distancia de transporte máxima de 5 km. (Ver Planos y E.T)	M3	53.49	31.87	1,704.73	-	-	1.87	100.03	30.00	1,604.70

Sub-Total		53.49	40.86	2,185.60	-	-	1.87	100.03	30.00	1,604.70
Prestaciones Sociales.	%	41.16%						41.17		
Costo Total \$	MI		2,226.77							
Costo Unitario Directo \$	MI		41.63							
Costos Indirectos y Utilidad \$	MI	40%	16.65							
Costo Unitario Total \$	MI		58.28							
Descripcion	Unidad	Cantidad	Costo Directo \$		Materiales \$		Mano de Obra \$		Transporte/ Equipos	
			Unitario	Total	Unitario	Total	Unitario	Total	Unitario	Total
RELLENO, COMPACTADO MECANICO ZANJAS, MATERIAL GRANULAR D<=5Km										
Relleno y compactado con medios mecánicos de zanjas con material granular, proveniente de préstamos o de las propias excavaciones, transportado desde una distancia máxima de 5 km. (Ver Planos y E.T)	M3	1149.95	5.20	5,979.74	-	-	2.60	2,989.87	2.60	2,989.87
Sub-Total		1149.95	5.6	6,439.72	-	-	2.60	2,989.87	2.60	2,989.87
Prestaciones Sociales.	%	41.16%						1,230.63		
Costo Total \$	MI		7,670.35							
Costo Unitario Directo \$	MI		6.67							
Costos Indirectos y Utilidad \$	MI	40%	2.67							
Costo Unitario Total \$	MI		9.34							
Descripcion	Unidad	Cantidad	Costo Directo \$		Materiales \$		Mano de Obra \$		Transporte/ Equipos	
			Unitario	Total	Unitario	Total	Unitario	Total	Unitario	Total
DESALOJO DE MATERIAL SOBRANTE Y DE DESECHO, D<=5Km										
Desalojo de material sobrante y de desecho producto de la excavación y relleno, transportado desde una distancia máxima de 5 km.	M3	133.71	7.75	1,036.25	-	-	-	-	7.75	1,036.25
Sub-Total		133.71	7.75	1,036.25	-	-	-	-	42.00	5,615.82
Prestaciones Sociales.	%	41.16%						-		
Costo Total \$	MI		1,036.25							
Costo Unitario Directo \$	MI		7.75							
Costos Indirectos y Utilidad \$	MI	40%	3.10							

Costo Unitario Total \$	MI		10.85							
Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Directo \$		Materiales \$		Mano de Obra \$		Transporte/ Equipos	
			Unitario	Total	Unitario	Total	Unitario	Total	Unitario	Total
SISTEMA DE RED AGUA POTABLE, TUBERIAS PEAD										
TUBERÍA PEAD 100, Ø 150 MM, 1,0 MPA, COLOCADA										
Suministro e Instalación de Tubería de polietileno de alta densidad de 150 mm de diámetro y 1,0 MPA de presión de trabajo y unión por manguito/soldadura a tope; incluyendo piezas especiales, valvulas, accesorios, materiales a pie de obra, montaje, colocación y prueba hidraulicas y puesta en marcha, así como otro cualquier requerimiento necesario para su buen funcionamiento. Incluye sustitución y retiro de tuberías existentes, así como las acometidas afectadas. (Ver Planos y E.T)	ML	1392.86	118.46	164,998.20	55.97	77,958.37	35.11	48,903.31	27.38	38,136.51
Sub-Total		1392.86	118.47	165,012.12	55.97	77,958.37	35.11	48,903.31	27.38	38,136.51
Prestaciones Sociales.	%	41.16%						20,128.60		
Costo Total \$	MI		185,140.73							
Costo Unitario Directo \$	MI		132.92							
Costos Indirectos y Utilidad \$	MI	40%	53.17							
Costo Unitario Total \$	MI		186.09							

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Directo \$	Materiales \$	Mano de Obra \$	Transporte/ Equipos
-------------	--------	----------	------------------	---------------	-----------------	---------------------

			Unitario	Total	Unitario	Total	Unitario	Total	Unitario	Total
HIDRANTES										
HIDRÓMETRO Ø 150 MM C/SOLENOIDE, CONTADOR, RED/LIM, INST										
Suministro e Instalación de Hidrómetro Reductor de Presión y de Control (limitador de paleta) de Caudal, 2W. Accionamiento Magnético (M0) / Mecánico (W0). Con Selector Manual, Piloto y Accesorios Plásticos (K). Válvula hidráulica de diafragma diámetro 150 mm con contador Woltman de eje vertical y transmisión mecánica o magnética, con solenoide para apertura y cierre a distancia, con regulador de presión y limitador de caudal, embrizada, presión de trabajo hasta 1,0 MPa, cuerpo y cubierta de fundición recubierta de poliéster, diafragma de caucho natura NR, tornillería y resorte de acero inoxidable, cuerpo del contador en polipropileno con pivotes en carburo de tungsteno, instalada. (Ver Planos y E.T)	C.U.	1	10,676.25	10,676.25	7,741.00	7,741.00	2,548.20	2,548.20	387.05	387.05
Sub-Total		1	10676.25	10,676.25	7,741.00	7,741.00	2,548.20	2,548.20	387.05	387.05
Prestaciones Sociales.	%	41.16%						1,048.84		
Costo Total \$	MI		11,725.09							
Costo Unitario Directo \$	MI		11,725.09							
Costos Indirectos y Utilidad \$	MI	40%	4,690.04							
Costo Unitario Total \$	MI		16,415.12							
LIMPIEZA FINAL Y ENTREGA										
Limpieza Final y Entrega.	GLB	1	2,263.80	2,263.80	-	-	448.80	448.80	1,815.00	1,815.00
Sub-Total		1	2263	2,263.00	-	-	448.80	448.80	325.00	325.00
Prestaciones Sociales.	%	41.16%						184.73		
Costo Total \$	MI		2,447.73							
Costo Unitario Directo \$	MI		2,447.73							
Costos Indirectos y Utilidad \$	MI	40%	979.09							
Costo Unitario Total \$	MI		3,426.82							

Fuente: Elaboración propia

4.14 Precios unitarios alternativa perforación horizontal dirigida

Tabla N°19 Precios unitarios

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Directo \$		Materiales \$		Mano de Obra \$		Transporte/ Equipos	
			Unitario	Total	Unitario	Total	Unitario	Total	Unitario	Total
INGENIERIA MOVILIZACION Y PRELIMINARES										
Movilizacion de Equipo de Perforacion, Sistema de Lodos, y Personal Especializado al Sitio	GL	1	2960	2960	0	0	560	560	2400	2400
Sub-Total		1	2960	2960	0	0	560	560	2400	2400
Prestaciones Sociales.	%	41.16%						230.496		
Costo Total \$	MI		3190.496							
Costo Unitario Directo \$	MI		3190.496							
Costos Indirectos y Utilidad \$	MI	40%	1276.1984							
Costo Unitario Total \$	MI		4466.6944							
Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Directo \$		Materiales \$		Mano de Obra \$		Transporte/ Equipos	
			Unitario	Total	Unitario	Total	Unitario	Total	Unitario	Total
Trazado Topografico, Deteccion de Obras Subterraneas Existentes con Georradar y Diseño de Perfil de Perforacion.	M	1392.86	2.81	3913.9366	0.25	348.215	2	2785.72	0.56	780.0016
Sub-Total		1392.86	2.81	3913.9366	0.25	348.215	2	2785.72	0.56	780.0016
Prestaciones Sociales.	%	41.16%						1146.602352		
Costo Total \$	MI		5060.538952							
Costo Unitario Directo \$	MI		3.6332							
Costos Indirectos y Utilidad \$	MI	40%	1.45328							
Costo Unitario Total \$	MI		5.08648							

Descripcion	Unidad	Cantidad	Costo Directo \$		Materiales \$		Mano de Obra \$		Transporte/ Equipos	
			Unitario	Total	Unitario	Total	Unitario	Total	Unitario	Total
Excavacion de Fosa de Entrada(lanzamiento) y Excavacion de Fosa de Salida(recepcion), con las medidas de, 2m x 1,5 x2m	UD	10	69	690	0	0	21	210	48	480
Sub-Total		10	69	690	0	0	21	210	48	480
Prestaciones Sociales.	%	41%						86.1		
Costo Total \$	MI		776.1							
Costo Unitario Directo \$	MI		77.61							
Costos Indirectos y Utilidad \$	MI	40%	31.044							
Costo Unitario Total \$	MI		7.761							
Descripcion	Unidad	Cantidad	Costo Directo \$		Materiales \$		Mano de Obra \$		Transporte/ Equipos	
			Unitario	Total	Unitario	Total	Unitario	Total	Unitario	Total
SUMINISTRO Y PREPARACION DE TUBERIA DE 180MM HDPE										
Suministro de Tuberia de 180mm de HDPE de Alta Densidad, Incluye Flete a Pie de Obra	M	1392.86	75	104464.5	45.4	63235.844	4.24	5905.7264	25.36	35322.9296
Sub-Total		1392.86	75	104464.5	45.4	63235.844	4.24	5905.7264	25.36	35322.9296
Prestaciones Sociales.	%	41.16%						2430.796986		
Costo Total \$	MI		106895.297							
Costo Unitario Directo \$	MI		76.745184							
Costos Indirectos y Utilidad \$	MI	40%	30.6980736							
Costo Unitario Total \$	MI		107.44							
Descripcion	Unidad	Cantidad	Costo Directo \$		Materiales \$		Mano de Obra \$		Transporte/ Equipos	
			Unitario	Total	Unitario	Total	Unitario	Total	Unitario	Total
Termofusion a Tope de Tuberia para Formacion de Sartas Largas, Incluye Equipo de Fusion y Tecnico Certificado	M	1392.86	13.86	19305.0396	1.35	1880.361	12	16714.32	0.51	710.3586
Sub-Total		1392.86	13.86	19305.0396	1.35	1880.361	12	16714.32	0.51	710.3586
Prestaciones Sociales.	%	41.16%						6879.614112		
Costo Total \$	MI		26184.65371							
Costo Unitario Directo \$	MI		18.7992							

Costos Indirectos y Utilidad \$	MI	40%	7.51968							
Costo Unitario Total \$	MI		26.32							
Descripcion	Unidad	Cantidad	Costo Directo \$		Materiales \$		Mano de Obra \$		Transporte/ Equipos	
			Unitario	Total	Unitario	Total	Unitario	Total	Unitario	Total
Union de Tuberia en Fosas por el Metodo Juntas de Electrofusion	UD	10	80.75	807.5	67	670	11.5	115	2.25	22.5
Sub-Total		10	80.75	807.5	67	670	11.5	115	2.25	22.5
Prestaciones Sociales.	%	41.16%						47.334		
Costo Total \$	MI		854.834							
Costo Unitario Directo \$	MI		85.4834							
Costos Indirectos y Utilidad \$	MI	40%	34.19336							
Costo Unitario Total \$	MI		119.68							
Descripcion	Unidad	Cantidad	Costo Directo \$		Materiales \$		Mano de Obra \$		Transporte/ Equipos	
			Unitario	Total	Unitario	Total	Unitario	Total	Unitario	Total
OPERACIÓN DE PERFORACION Y TRACCION										
Perforacion Piloto: Ejecucion del Tunel Guia con Digitrak para control de Pendiente y Direccion.	M	1392.86	33.99	47343.3114	1.15	1601.789	7.24	10084.3064	25.6	35657.216
Sub-Total		1392.86	33.99	47343.3114	1.15	1601.789	7.24	10084.3064	25.6	35657.216
Prestaciones Sociales.	%	41.16%						4150.700514		
Costo Total \$	MI		51494.01191							
Costo Unitario Directo \$	MI		36.969984							
Costos Indirectos y Utilidad \$	MI	40%	14.7879936							
Costo Unitario Total \$	MI		51.76							
Descripcion	Unidad	Cantidad	Costo Directo \$		Materiales \$		Mano de Obra \$		Transporte/ Equipos	
			Unitario	Total	Unitario	Total	Unitario	Total	Unitario	Total
Escariado (Pre Reaming): Ampliacion del Tunel de 10 a 12 Pulgadas Mediante Rimac Cortadoras Según Tipo de Suelo.	M	1392.86	35.1	48889.386	1.15	1601.789	5.25	7312.515	28.7	39975.082
Sub-Total		1392.86	35.1	48889.386	1.15	1601.789	5.25	7312.515	28.7	39975.082
Prestaciones Sociales.	%	41.16%						3009.831174		
Costo Total \$	MI		51899.21717							

Costo Unitario Directo \$	MI		37.2609							
Costos Indirectos y Utilidad \$	MI	40%	14.90436							
Costo Unitario Total \$	MI		52.17							
Descripcion	Unidad	Cantidad	Costo Directo \$		Materiales \$		Mano de Obra \$		Transporte/ Equipos	
			Unitario	Total	Unitario	Total	Unitario	Total	Unitario	Total
Traccion (Pull Back): Instalacion de la Tuberia de HDPE Mediante Jalado con Cabeza de Tiro y Destorcedor	M	1392.86	15	20892.9	1.15	1601.789	7.25	10098.235	14.2	19778.612
Sub-Total		1392.86	15	20892.9	1.15	1601.789	7.25	10098.235	14.2	19778.612
Prestaciones Sociales.	%	41.16%						4156.433526		
Costo Total \$	MI		25049.33353							
Costo Unitario Directo \$	MI		17.9841							
Costos Indirectos y Utilidad \$	MI	40%	7.19364							
Costo Unitario Total \$	MI		25.18							
Descripcion	Unidad	Cantidad	Costo Directo \$		Materiales \$		Mano de Obra \$		Transporte/ Equipos	
			Unitario	Total	Unitario	Total	Unitario	Total	Unitario	Total
GESTION DE FLUIDOS Y LIMPIEZA				0						
Preparacion y Bombeo de Fluidos de Perforacion, (Bentonita mas Polimeros) usados en Estabilidad del Tunel.	M	1392.86	14.35	19987.541	12.24	17048.6064	1.21	1685.3606	0.9	1253.574
Sub-Total		1392.86	14.35	19987.541	12.24	17048.6064	1.21	1685.3606	0.9	1253.574
Prestaciones Sociales.	%	41.16%						693.694423		
Costo Total \$	MI		20681.23542							
Costo Unitario Directo \$	MI		14.848036							
Costos Indirectos y Utilidad \$	MI	40%	5.9392144							
Costo Unitario Total \$	MI		20.79							

Descripcion	Unidad	Cantidad	Costo Directo \$		Materiales \$		Mano de Obra \$		Transporte/ Equipos	
			Unitario	Total	Unitario	Total	Unitario	Total	Unitario	Total
Recoleccion, Succion con Vector y Disposicion Final de Lodos Sobrantes en Sitios Autorizados	GL	1	5217	5217	0	0	387	387	4830	4830
Sub-Total		1	5217	5217	0	0	387	387	4830	4830
Prestaciones Sociales.	%	41.16%						159.2892		
Costo Total \$	MI		5376.2892							
Costo Unitario Directo \$	MI		5535.5784							
Costos Indirectos y Utilidad \$	MI	40%	2214.23136							
Costo Unitario Total \$	MI		7,749.81							
Descripcion	Unidad	Cantidad	Costo Directo \$		Materiales \$		Mano de Obra \$		Transporte/ Equipos	
			Unitario	Total	Unitario	Total	Unitario	Total	Unitario	Total
Restauracion de Pavimento Afectado por las Fosas de Trabajo	M2	40	24.71	988.4	16.3	652	4.15	166	4.26	170.4
Sub-Total		40	24.71	988.4	16.3	652	4.15	166	4.26	170.4
Prestaciones Sociales.	%	41.16%						68.3256		
Costo Total \$	MI		1056.7256							
Costo Unitario Directo \$	MI		26.41814							
Costos Indirectos y Utilidad \$	MI	40%	10.567256							
Costo Unitario Total \$	MI		36.99							
Descripcion	Unidad	Cantidad	Costo Directo \$		Materiales \$		Mano de Obra \$		Transporte/ Equipos	
			Unitario	Total	Unitario	Total	Unitario	Total	Unitario	Total
PRUEBAS Y ENTREGA										
Prueba Hidrostatica de la Tuberia Instalada Según Presion de Trabajo.	M	1392.86	1.33	1852.5038	0.12	167.1432	0.55	766.073	0.66	919.2876
Sub-Total		1392.86	1.33	1852.5038	0.12	167.1432	0.55	766.073	0.66	919.2876
Prestaciones Sociales.	%	41.16%						315.3156468		
Costo Total \$	MI		2167.819447							
Costo Unitario Directo \$	MI		1.55638							
Costos Indirectos y Utilidad \$	MI	40%	0.622552							
Costo Unitario Total \$	MI		2.18							

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Directo \$		Materiales \$		Mano de Obra \$		Transporte/ Equipos	
			Unitario	Total	Unitario	Total	Unitario	Total	Unitario	Total
Limpieza de Area de Trabajo	GL	1	900	900	0	0	245	245	655	655
Sub-Total		1	900	900	0	0	245	245	655	655
Prestaciones Sociales.	%	41.16%						100.842		
Costo Total \$	MI		1000.842							
Costo Unitario Directo \$	MI		1000.842							
Costos Indirectos y Utilidad \$	MI	40%	400.3368							
Costo Unitario Total \$	MI		1,401.18							

Fuente: Elaboración Propia

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- El estudio de prefactibilidad realizado para la renovación de las redes de asbesto cemento en el sector de Altamira demuestra que el proyecto es plenamente factible desde las dimensiones técnica, social y económica, la implementación de la tecnología PHD con tuberías de polietileno de alta densidad (HDPE) se confirma como la solución óptima para este proyecto.
- Se estima que una vez finalizado el proyecto se beneficiará a una población de 920 habitantes y después de 20 años que es la vida útil de las instalaciones, se espera favorecer hasta 1,266 habitantes para la población del área de influencia del proyecto.
- Debido a que el proyecto se debe ejecutar en una zona urbana con un denso número de población Altamira y una vía pública pavimentada principal, la recomendación es optar por la Perforación Horizontal Dirigida (PHD) ya que minimiza significativamente las afectaciones al tráfico , costo de restauración del pavimento , impacto ambiental y asegura la aceptación social del proyecto.
- El resultado de estudio socio-económico, se observa que el proyecto existe una viabilidad económica. En el análisis por el valor actual neto económico se estima valores positivos de C\$ 3770503.44 y C\$ 741192.93 para las alternativas zanja abierta y perforación horizontal dirigida respectivamente, una tasa interna de retorno económico de 10.60 y 8.45 % y una relación beneficio costo de 1.19 y 1.06, esto indica que el proyecto es viable. Sin embargo, el sobrecoste de C\$ 2,232,468.72 para ejecutar la alternativa de método PHD está justificado por mitigación de conflictos sociales , afectación a infraestructura y rápida ejecución de las obras.

Recomendaciones

Se recomienda que las instituciones encargadas de la gestión del agua potable prioricen el uso de la Perforación Horizontal Dirigida (PHD) en proyectos de renovación de redes ubicados en zonas con alta densidad poblacional y tráfico vehicular intenso. Aunque el costo directo inicial pueda ser superior al método de zanja abierta, la reducción de los "costos ocultos" —tales como la reposición de carpetas asfálticas, la gestión del tráfico y las posibles multas o daños a servicios subterráneos existentes (fibra óptica o electricidad)— convierte a la PHD en la opción más rentable y con mayor aceptación social a largo plazo para centros urbanos como Managua.

Para garantizar la sostenibilidad de la inversión y la integridad del sistema hidráulico, es fundamental que en futuras ejecuciones se exija el cumplimiento estricto de los estándares internacionales en materiales y procesos de instalación. Específicamente, se debe asegurar el uso de resinas de polietileno de alta resistencia (PE4710) bajo la norma ASTM D3350 y supervisar que los procedimientos de termofusión sigan la norma ASTM F2620, asegurando que las uniones sean tan fuertes como el tubo mismo para resistir las tensiones durante el jalado y las presiones operativas futuras.

Se sugiere establecer protocolos integrales para el manejo de fluidos de perforación (bentonita) y la disposición final de lodos sobrantes en sitios autorizados, evitando la sedimentación en los sistemas de drenaje pluvial urbano. Asimismo, es vital implementar programas de capacitación continua para el personal operativo y de supervisión en el uso de sistemas de guiado electromagnético y análisis geotécnico en tiempo real, lo que permitirá optimizar los rendimientos de perforación, mantener los radios mínimos de curvatura de la tubería y reducir los riesgos operacionales en terrenos complejos.

BIBLIOGRAFIA

1. Baca Urbina, G. (1999). Fundamentos de ingeniería económica (2.^a ed.). McGraw-Hill.
2. Baca Urbina, G. (2010). Evaluación de proyectos (6.^a ed.). McGraw-Hill.
3. Bonds, B. (2001). Wildlife habitat mitigation. En Wildlife and highways: Seeking solutions to an ecological and socio-economic dilemma (7th Annual Meeting of the Wildlife Society). Nashville, TN.
4. CAPSA. (2008). Manual técnico para el diseño de conducciones de PVC. Managua, Nicaragua.
5. El Nuevo FISE. (2008). Guía de costos FISE. Managua, Nicaragua.
6. Fondo de Inversión Social de Emergencia (FISE). (2014). Módulo de costos y presupuestos: Catálogo de etapas y subetapas. Managua, Nicaragua.
7. Gutiérrez, R. (1972). Apuntes de costos y presupuesto. Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), Managua, Nicaragua.
8. Instituto Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados (INAA). (2005). Normas técnicas para el diseño de sistemas de abastecimiento de agua potable en zonas rurales. Managua, Nicaragua.
9. Martínez Cano, R. (2013, octubre). Módulo: Evaluación económica y social de proyectos. Curso Formulación y Evaluación de Proyectos. Managua, Nicaragua.
10. anual de análisis de costos en construcción. (1987). Editorial PDK.
11. Acevedo Ampié, G. (2013, octubre). Módulo: Evaluación financiera. Curso Formulación y Evaluación de Proyectos. Managua, Nicaragua.
12. Vera Espino Cruz, M., Prado Rosales, M., & Jirón Rizo, R. C. (2011). Metodología general para la preparación y evaluación de proyectos de inversión pública. Nicaragua.

ANEXOS

Tabla N° 20Cronograma de ejecución método PHD

Ítem	Actividad	Duración (días)	Inicio	Fin
1	INGENIERÍA, MOVILIZACIÓN Y PRELIMINARES			
1.1	Movilización de equipo y personal especializado	4	Día 1	Día 4
1.2	Trazado topográfico, georradar y diseño de perfil	6	Día 3	Día 8
1.3	Excavación de fosa de entrada y salida	6	Día 6	Día 11
	Subtotal etapa 1	11		
2	SUMINISTRO Y PREPARACIÓN DE TUBERÍA HDPE			
2.1	Suministro de tubería HDPE 180 mm	10	Día 5	Día 14
2.2	Termofusión a tope (sartas largas)	8	Día 10	Día 17
2.3	Uniones por electro fusión en fosas	5	Día 15	Día 19
	Subtotal etapa 2	15		
3	OPERACIÓN DE PERFORACIÓN Y TRACCIÓN			
3.1	Perforación piloto (túnel guía)	8	Día 15	Día 22
3.2	Escariado (Pre-Reaming)	7	Día 21	Día 27
3.3	Tracción (Pull Back) de tubería HDPE	6	Día 26	Día 31
	Subtotal etapa 3	17		
4	GESTIÓN DE FLUIDOS Y LIMPIEZA			
4.1	Preparación y bombeo de fluidos de perforación	12	Día 15	Día 26
4.2	Recolección y disposición de lodos	8	Día 22	Día 29
4.3	Restauración de pavimento en fosas	6	Día 32	Día 37
	Subtotal etapa 4	13		

5	PRUEBAS Y ENTREGA			
5.1	Prueba hidrostática de la tubería instalada	4	Día 38	Día 41
5.2	Limpieza final y entrega de obra	4	Día 42	Día 45
	Margen operativo / contingencias	15	Día 46	Día 60

Fuente: Elaboración Propia

- **Casos de estudio , viabilidad del método excavación Perforación horizontal dirigida.**

Rubro de Fibra Óptica

En Managua, una rotura de fibra óptica en una zona de población densa no solo implica el costo de reparación, sino un efecto dominó económico de grandes proporciones.

1. Costo de Reparación Técnica (Gasto Directo)

Las empresas de telecomunicaciones en Nicaragua (Claro, Tigo, IBW) despliegan cuadrillas de emergencia "splicers" (empalmadores) cuyo costo de movilización es alto.

Visita y Empalme: De \$300 a \$1,000 USD solo por la mano de obra y materiales básicos (fusionadora, mangas de empalme).

Repuesto de Cable: Si la rotura obliga a sustituir un tramo completo (entre pozos), el costo sube considerablemente.

2. Pérdidas por inactividad (El verdadero costo)

En un sector de Managua (zonas como Carretera a Masaya, Altamira o Bolonia), un corte afecta a cientos de empresas.

Para una PYME: Una hora sin internet puede representar pérdidas de productividad de \$150 a \$500 USD .

Para una Gran Empresa/Banco: El "Downtime" puede costar desde \$5,000 hasta \$50,000 USD por hora debido a la imposibilidad de procesar transacciones bancarias, servicios en la nube o atención al cliente internacional (Call Centers).

Impacto Agregado: Si el cable es una troncal principal que alimenta un barrio entero, la pérdida económica social estimada para la zona puede superar los \$100,000 USD por hora .

3. Multas y Sanciones (Riesgo Legal)

TELCOR (Ente regulador en Nicaragua) tiene normativas estrictas sobre la protección de infraestructura:

Multas Administrativas: Según la Ley General de Telecomunicaciones, las infracciones graves por daños a redes pueden oscilar entre C\$ 40,000 y C\$ 50,000 córdobas (aprox. \$1,100 - \$1,400 USD).

Demandas de Operadores: Las empresas de telecomunicaciones suelen exigir a la constructora por el beneficio cesante (lo que dejaron de ganar) y la indemnización a sus clientes afectados.

Análisis Comparativo para la Propuesta de Instalación con Perforación Horizontal Dirigida.

Tabla N° 21 Resumen de costo-riesgos por excavaciones tradicionales

Concepto	Costo Riesgo (1 sola rotura)	Diferencia de Presupuesto \$60,963 USD
Reparación + Multa	\$2,500 - \$5,000 USD	
Pérdidas de Terceros	\$10,000 - \$100,000+ USD	

Fuente: Elaboración Propia

Cláusula de Gestión de Riesgos e Integridad de Infraestructura.

Mitigación de Daños a Redes de Telecomunicaciones y Servicios Críticos.

"Dada la naturaleza del proyecto en un sector de población densa en Managua , se identifica como Riesgo de Alto Impacto la interrupción accidental de redes de fibra óptica y servicios públicos subterráneos.

Bajo el método de Zanja Abierta, el riesgo de siniestro se estima en un nivel Crítico , considerando que el subsuelo en Managua presenta inconsistencias en los planos de catastro de redes. Se estima que la rotura de un troncal de fibra óptica de alta capacidad generaría:

Costos Directos: Reparaciones de emergencia y reposición de materiales estimados entre \$3,000 y \$5,000 USD por evento.

Costos Indirectos (Lucro Cesante): Reclamaciones por inactividad de servicios corporativos y bancarios que pueden superar los \$10,000 USD por hora de desconexión.

Sanciones Legales: Multas administrativas por parte del ente regulador (TELCOR) y posibles demandas civiles por daños a terceros.

Rotura de una Tubería Agua Potable de 6 Pulgadas.

Una tubería de agua potable de 6 pulgadas (una de las más medidas comunes para distribución en barrios y zonas comerciales de Managua.

Análisis de Impacto: Rotura de Tubería de Agua Potable (6")

En un entorno urbano denso, una rotura de este tipo con excavadora mecánica (Zanja Abierta) no es solo un desperdicio de recursos, sino una emergencia civil.

1. Impacto Operativo y Costos de Reparación

Pérdida de Presión y Desperdicio: Una tubería de 6" a presión urbana puede verter millas de galones en minutos, socavando la base de la carretera y pudiendo causar hundimientos (socavones) bajo el pavimento adyacente.

Costos de ENACAL: La reparación por parte de la Empresa Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados (ENACAL) incluye el costo de la cuadrilla, materiales (uniones tipo Dresser, tramos de tubería) y la desinfección de la red. Esto puede oscilar entre \$800 y \$2,500 USD por evento.

2. Costos Sociales y de Salud Pública

Corte del Suministro: En zonas densas, una tubería de 4" suele abastecer a entre 200 y 500 viviendas o negocios. La interrupción del servicio genera una presión social inmediata sobre la constructora y la municipalidad.

Contaminación de la Red: Al romperse la tubería, existe el riesgo de que aguas servidas o tierra entren al sistema de agua potable (succión por presión negativa), lo que obliga a purgas prolongadas de la red, extendiendo el tiempo de inactividad.

3. Riesgos Estructurales por Inundación

Daños a Terceros: El agua a presión puede filtrarse hacia los cimientos de edificios cercanos o inundar sótanos y parques subterráneos, comunes en zonas comerciales de Managua. Una sola demanda por daños a la propiedad privada superaría con creces el ahorro de la zanja abierta.

Análisis Comparativo para la Propuesta de Instalación con Perforación Horizontal Dirigida.

Tabla N° 22 Resumen de costo , datos recopilados por proyectos que anteceden.

Evento	Costo Estimado (Mínimo)
Reparación de Fibra Óptica	\$5,000 USD
Reparación de Agua (6") + Bacheo	\$3,500 USD
Multas y Sanciones (TELCOR/Alcaldía)	\$2,000 USD
Total Riesgo Inmediato (1 evento de c/u)	\$10,500 USD

Fuente: Elaboración propia

Riesgo de Afectación a la Red de Distribución de Agua Potable: "El método de Zanja Abierta en el sector intervenido presenta una vulnerabilidad crítica ante la red de distribución de 6" de ENACAL. La rotura accidental de dicha línea no solo conlleva costos directos de reparación, sino que implica el riesgo de socavamiento de la infraestructura vial existente y la suspensión del servicio vital para cientos de usuarios.

Normativa para método perforación horizontal dirigida

SDR (Standard Dimension Ratio) . Para PHD, recomienda un DEG 11 o DEG 17 .

La tubería debe resistir la tensión de ser halada a través del túnel. Si usas una norma de SDR muy alta (pared delgada), la tubería podría estirarse o deformarse durante la instalación.

Para calcular la Fuerza Máxima de Tracción Permitida (Safe Pull Strength), necesitamos aplicar la normativa ASTM F1962 . Este cálculo es vital para asegurar que la perforadora no estire el HDPE de 180 mm más allá de su límite elástico, lo que causaría una reducción de su diámetro y una falla futura.

Asumiendo que utiliza un HDPE PE4710 , que es el estándar de alta resistencia, aquí tienes la base de cálculo:

1. Variables necesarias

Para una tubería de 160 mm (6 pulgadas nominales) :

Diámetro exterior real (D0): 180 mm (aproximado según SDR).

SDR (Relación de Dimensión Estándar): Usaremos SDR 11 (el recomendado para PHD por su robustez).

Área Transversal del Anillo (Apag): Es el área de la "pared" del tubo. Para un SDR 11 de 180 mm, el área es de aproximadamente 7250 mm² .

Esfuerzo de Tracción Permitido (Sa): Para PE4710 en una instalación de corta duración (menor a 12 horas), la norma sugiere unos 9,0 MPa (1300 psi) a 23°C.

2. La Fórmula

La fuerza máxima (Fpag) se calcula como:

$$F_{pag} = A_{pag} \times S_a$$

3. Resultado del Cálculo

Para un tubo de 180 mm SDR 11:

$$F_{pag} = 7,250 \text{ mm}^2 \times 9.0 \text{ N/mm}^2 = 65,250 \text{ Newtons}$$

En unidades de peso (para el operador de la máquina):

Fuerza Máxima: ~6.650 kg (6,6 Toneladas).

Se ha verificado mediante la norma ASTM F1962 que para la tubería de HDPE de 180 mm SDR 11, la tensión máxima de diseño es de 6.6 toneladas . El equipo de perforación seleccionado cuenta con manómetros calibrados para asegurar que

durante la fase de halado (pullback) no se exceda este límite, garantizando la integridad estructural y el diámetro interno constante de la conducción tras su instalación."

La siguiente tabla obedece a cálculos basados en un esfuerzo de tracción seguro (Sa) de 1.300 psi (9,0 MPa) para instalaciones de corta duración.

Tabla N° 23 de Tracción Máxima Permitida (ASTM F1962)

Diámetro nominal (pulgadas)	Diámetro exterior (Do)	Área Transversal (Apag)	Fuerza Máxima (Fpag) en Newtons	Fuerza Máxima en Toneladas
2"	60,3 milímetros	1.065 mm ²	9.585 N	0,97 toneladas
3"	88,9 milímetros	2.312 mm ²	20.808 N	2,12 toneladas
4"	114,3 milímetros	3.815 mm ²	34.335 N	3,50 toneladas
6"	168,3 milímetros	8.284 mm ²	74.556 N	7,60 toneladas
8"	219,1 milímetros	14.035 mm ²	126.315 N	12,88 toneladas
10"	273,1 milímetros	21.780 mm ²	196.020 N	19,98 toneladas
12"	323,9 milímetros	30.650 mm ²	275.850 N	28,12 toneladas

Fuente: Elaboración propia

La siguiente tabla utiliza valores aproximados para PE4710 a temperatura ambiente (23°C a 30°).

Tabla N°24 de Radio de Curvatura Mínimo (HDPE SDR 11)

Diámetro nominal	Diámetro Ext. (D0) mm	Radio de Curvatura Mín. (Rmin), metros	Longitud de Arco para giro de 90°, metros
2	60,3	6,1	9,6
3	88,9	8,9	14
4	114,3	11,4	17,9
6	168,3	16,8	26,4
8	219,1	21,9	34,4
10	273,1	27,3	42,9
12	323,9	32,4	50,9

Fuente: Elaboración propia

Normas de Material y Diseño (PEAD)

Antes de perforar, debes asegurar que el material cumpla con los estándares de resina y fabricación:

ASTM D3350: Define las propiedades de la resina de polietileno. Para PHD en alcantarillado o agua a presión, se suele exigir PE4710 (alta resistencia al crecimiento de grietas).

ASTM F714: Estándar para tuberías de HDPE de diámetros grandes (como tus 150 mm) basada en el diámetro exterior.

AWWA C906: Es la norma de la American Water Works Association para tuberías de presión de polietileno. Es fundamental si la tubería es para agua potable en Managua.

2. Normas Específicas para Perforación Dirigida (PHD)

Estas regulan el "cómo" se hace el trabajo para no colapsar la tubería:

ASTM F1962: Es la "biblia" del PHD. Proporciona las guías para el diseño de la instalación de tuberías de HDPE bajo carreteras, ríos y zonas urbanas. Incluye los cálculos de la Carga de Tracción Máxima Permitida (para que no estires de más el tubo al jalarlo).

Manual ASCE No. 108: (Sociedad Americana de Ingenieros Civiles) Guía técnica para tecnologías sin zanja. Defina cómo calcular el asentamiento del suelo y la trayectoria de la perforación.

3. Normas de Unión (Termofusión)

En PHD, la tubería se une en la superficie antes de ser halada. La unión debe ser tan fuerte como el tubo:

ASTM F2620: Describe el procedimiento estándar para la Termofusión a tope . Es la norma que deben seguir tus técnicos para asegurar que la unión no caiga bajo tierra.

PPI TR-33: Directrices del Plastic Pipe Institute sobre la integridad de las juntas fusionadas.

Géminis dijo

Para una instalación de HDPE (Polietileno de Alta Densidad) mediante PHD en un entorno urbano como Managua, no basta con la destreza del operador; se debe cumplir con un marco normativo internacional y nacional para garantizar que la tubería resista los esfuerzos de tracción durante la instalación y las presiones operativas futuras.

Aquí tienes las normas principales que rigen este proceso:

1. Normas de Material y Diseño (PEAD)

Antes de perforar, debes asegurar que el material cumpla con los estándares de resina y fabricación:

ASTM D3350: Define las propiedades de la resina de polietileno. Para PHD en alcantarillado o agua a presión, se suele exigir PE4710 (alta resistencia al crecimiento de grietas).

ASTM F714: Estándar para tuberías de HDPE de diámetros grandes (como tus 150 mm) basada en el diámetro exterior.

AWWA C906: Es la norma de la American Water Works Association para tuberías de presión de polietileno. Es fundamental si la tubería es para agua potable en Managua.

2. Normas Específicas para Perforación Dirigida (PHD)

Estas regulan el "cómo" se hace el trabajo para no colapsar la tubería:

ASTM F1962: Es la "biblia" del PHD. Proporciona las guías para el diseño de la instalación de tuberías de HDPE bajo carreteras, ríos y zonas urbanas. Incluye los cálculos de la Carga de Tracción Máxima Permitida (para que no estires de más el tubo al jalarlo).

Manual ASCE No. 108: (Sociedad Americana de Ingenieros Civiles) Guía técnica para tecnologías sin zanja. Defina cómo calcular el asentamiento del suelo y la trayectoria de la perforación.

3. Normas de Unión (Termofusión)

En PHD, la tubería se une en la superficie antes de ser halada. La unión debe ser tan fuerte como el tubo:

ASTM F2620: Describe el procedimiento estándar para la Termofusión a tope . Es la norma que deben seguir tus técnicos para asegurar que la unión no caiga bajo tierra.

PPI TR-33: Directrices del Plastic Pipe Institute sobre la integridad de las juntas fusionadas.

4. Normativas Locales (Nicaragua)

Al trabajar en el sector de Managua, debes alinear el proyecto con:

Normas Técnicas de ENACAL: Para la profundidad mínima, presiones de prueba y distancias de seguridad con otras tuberías.

Regulaciones de la Alcaldía de Managua (ALMA): Específicamente sobre el uso de suelo, permisos de ocupación de vía (aunque no abras zanja, las máquinas ocupan espacio) y gestión de lodos de perforación (bentonita).

Ley 210 (Ley de Telecomunicaciones): Respecto a las distancias de guarda con los cables de fibra óptica que mencionamos anteriormente.

Tabla N°25 Presupuesto alternativa zanja abierta

SUSTITUCION DE TUBERIA DE ASBESTO CEMENTO POR TUBERIA DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD SECTOR ALTAMIRA					
ITEM/SUB ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO US\$	COSTO TOTAL US\$
SECTOR ALTAMIRA (PALI - CALLE PRINCIPAL) L=1,392.86ml					356,689.95
01	OBRAS PRELIMINARES				
02	REMOCION DE CARPETA DE RODAMIENTO				7,259.41
2.1	Comprende la remoción del asfalto o concreto u otro material, realizando los cortes en carpeta de rodamiento, incluyendo el desalojo la base granular.	M2	1114.29	6.51	7,259.41
2.2	REPOSICION DE LA CARPETA DE RODAMIENTO NUEVA				30,095.00
2.3	Carpeta de concreto asfáltico mezclado en planta . incluye: riego de impregnación FM-1 a razón de 1.5 l/m riego de liga FR-3 a razón de 0.7 l/m , concreto asfáltico No. 6 riego de sello FR-3 a razón de 1.0 l/m , gravilla para sello, barrido de la base, la carpeta y el sello. incluye: materiales, - equipo para tendido y compactación, mano de obra y acarreo primer kilómetro de concreto asfáltico b) de 7 cm. de espesor. Asi mismo, incluye la colocación de la base granular y las pruebas que se requieran para el control de resistencias.	M2	1114.29	27.01	30,095.00

04	SEÑALIZACION				6,334.88	
4.1	Comprende el uso de vallas metalicas, mallas plasticas, señalizacion vertical para el uso del desvio de trafico asi como el personal para el control de trafico.	GLB	1	6,334.88	6,334.88	
05	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION DE EQUIPOS				1,497.15	
	Comprende la movilizacion y desmovilizacion de los equipos necesarios para ejecutar las obras.	GLB	1	1,497.15	1,497.15	
06	MOVIMIENTO DE TIERRA				17,157.82	
07	Trazo de Niveles y Replanteo del Proyecto					
7.1	Trazo de niveles y replanteo permanente del área donde se instalarán las tuberías PEAD, se incluye Cuadrilla de Topografía permanente durante la obra.	GLB	1	7,579.14	7,579.14	
8.1	Excavación mecánica de zanjas para tuberías, con retroexcavadora, en terreno mixto, medido sobre perfil. Rango de Profundidad 0.00m a 1.50m. (Ver Planos y E.T)	M3	1337.15	7.16	9,578.69	
09	CONSTRUCCION CAMA/RELLENO GRAVILLA PARA TUBERIAS, D<=5 Km				3,117.48	
9.1	Construcción de cama de tuberías con el material adecuado (colchón de grava de 3/4", grava de 1/2" y arena Motastepe que pase el tamiz #4), con un grado de compactación superior al 90% del Ensayo Próctor Normal, con una distancia de transporte máxima de 5 km. (Ver Planos y E.T)	M3	53.49	58.28	3,117.48	
10	RELLENO, COMPACTADO MECANICO ZANJAS, MATERIAL GRANULAR D<=5Km				10,738.49	

10.1	Relleno y compactado con medios mecánicos de zanjas con material granular, procedente de préstamos o de las propias excavaciones, transportado desde una distancia máxima de 5 km. (Ver Planos y E.T)	M3	1149.95	9.34	10,738.49	
11	DESALOJO DE MATERIAL SOBRANTE Y DE DESECHO, D<=5Km				1,450.75	
11.1	Desalojo de material sobrante y de desecho producto de la excavación y relleno, transportado desde una distancia máxima de 5 km.	M3	133.71	10.85	1,450.75	
12	SISTEMA DE RED AGUA POTABLE, TUBERIAS PEAD				259,197.02	
13	TUBERÍA PEAD 100, Ø 150 MM, 1,0 MPA, COLOCADA				259,197.02	
13.1	Suministro e Instalación de Tubería de polietileno de alta densidad de 150 mm de diámetro y 1,0 MPa de presión de trabajo y unión por manguito/sodadura a tope; incluyendo piezas especiales, valvulas, accesorios, materiales a pie de obra, montaje, colocación y prueba hidraulicas y puesta en marcha, asi como otro cualquier requerimiento necesario para su buen funcionamiento. Incluye sustitución y retiro de tuberías existentes, asi como las acometidas afectadas. (Ver Planos y E.T)	ML	1392.86	186.09	259,197.02	
14	HIDRANTES				16,415.12	
14.1	HIDRÓMETRO Ø 150 MM C/SOLENOIDE, CONTADOR, RED/LIM, INST				16,415.12	

14.2	Suministro e Instalación de Hidrómetro Reductor de Presión y de Control (limitador de paleta) de Caudal, 2W. Accionamiento Magnético (M0) / Mecánico (W0). Con Selector Manual, Piloto y Accesorios Plásticos (K). Válvula hidráulica de diafragma diámetro 150 mm con contador Woltman de eje vertical y transmisión mecánica o magnética, con solenoide para apertura y cierre a distancia, con regulador de presión y limitador de caudal, embridada, presión de trabajo hasta 1,0 MPa, cuerpo y cubierta de fundición recubierta de poliéster, diafragma de caucho natura NR, tornillería y resorte de acero inoxidable, cuerpo del contador en polipropileno con pivotes en carburo de tungsteno, instalada. (Ver Planos y E.T)	C.U.	1	16,415.12	16,415.12	
15	LIMPIEZA FINAL Y ENTREGA				3,426.82	
15.1	Limpieza Final y Entrega.	GLB	1	3,426.82	3,426.82	

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°26 Presupuesto alternativa Perforación Horizontal dirigida

SUSTITUCION DE TUBERIA DE ASBESTO CEMENTO POR TUBERIA DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD SECTOR ALTAMIRA					
ITEM/SUB ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO US\$	COSTO TOTAL US\$
	SECTOR ALTAMIRA (PALI - CALLE PRINCIPAL) L=1,392.86ml				421,576.43
1	INGENIERIA MOVILIZACION Y PRELIMINARES				
1.1	Movilizacion de Equipo de Perforacion, Sistema de Lodos, y Personal Especializado al Sitio	GL	1	4466.6944	4,466.69
1.2	Trazado Topografico, Deteccion de Obras Subterranas Existentes con Georradar y Diseño de Perfil de Perforacion.	M	1392.86	5.08648	7,084.75
1.3	Excavacion de Fosa de Entrada(lanzamiento) y Excavacion de Fosa de Salida(recepcion), con las medidas de, 2m x 1,5 x2m	UD	10	7.761	77.61
					11,629.06
2	SUMINISTRO Y PREPARACION DE TUBERIA DE 180MM HDPE				
2.1	Suministro de Tuberia de 180mm de HDPE de Alta Densidad, Incluye Flete a Pie de Obra	M	1392.86	107.44	149,653.42
2.2	Termofusion a Tope de Tuberia para Formacion de Sartas Largas, Incluye Equipo de Fusion y Tecnico Certificado	M	1392.86	26.32	36,658.52
2.3	Union de Tuberia en Fosas por el Metodo Juntas de Electrofusion	UD	10	119.68	1,196.77

					187,508.70	
3	OPERACIÓN DE PERFORACION Y TRACCION					
3.1	Perforacion Piloto: Ejecucion del Tunel Guia con Ditrak para control de Pendiente y Direccion.	M	1392.86	51.76	72,091.62	
3.2	Escariado (Pre Reaming): Ampliacion del Tunel de 10 a 12 Pulgadas Mediante Rimas Cortadoras Según Tipo de Suelo.	M	1392.86	52.17	72,658.90	
3.3	Traccion (Pull Back): Instalacion de la Tuberia de HDPE Mediante Jalado con Cabeza de Tiro y Destorcedor	M	1392.86	25.18	35,069.07	
					179,819.59	
4	GESTION DE FLUIDOS Y LIMPIEZA				-	
4.1	Preparacion y Bombeo de Fluidos de Perforacion, (Bentonita mas Polimeros) usados en Estabilidad del Tunel.	M	1392.86	20.79	28,953.73	
4.2	Recoleccion, Succion con Vactor y Disposicion Final de Lodos Sobrantes en Sitios Autorizados	GL	1	7,749.81	7,749.81	
4.3	Restauracion de Pavimento Afectado por las Fosas de Trabajo	M2	40	36.99	1,479.42	
					38,182.96	
5	PRUEBAS Y ENTREGA					
5.1	Prueba Hidrostatica de la Tuberia Instalada Según Presion de Trabajo.	M	1392.86	2.18	3,034.95	
5.2	Limpieza de Area de Trabajo	GL	1	1,401.18	1,401.18	
					4,436.13	

PAGINA EN BLANCO



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE REGISTRO ACADÉMICO

HOJA DE MATRICULA
AÑO ACADEMICO 2025

No. Recibo		No. Inscripción 16649				
NOMBRES Y APELLIDOS: Bryan Alexander Siles Sánchez						
CARRERA: INGENIERIA CIVIL		CARNET: 2018-0851U		TURNO: Diurno		
PLAN DE ESTUDIO: 2015		SEMESTRE: SEGUNDO SEMESTRE 2025		FECHA: 12/08/2025		
No.	ASIGNATURA	GRUPO	AULA	CRED.	F	R
1	ULTIMA LINEA					

F:Frecuencia de Inscripciones de Asignatura R: Retiro de Asignatura.

USER_ONLINE

GRABADOR

cc:ORIGINAL:ESTUDIANTE - COPIA:EXPEDIENTE.

IMPRESO POR SISTEMA DE REGISTRO ACADEMICO EL 03-nov-2025



FIRMA Y SELLO DEL
FUNCIONARIO

FIRMA DEL
ESTUDIANTE



Secretaría Académica
DACAC

SECRETARIA DE ÁREA ACADÉMICA

F-8: CARTA DE FINALIZADO PLAN DE ASIGNATURA

El Suscrito Secretario del AREA DE CONOCIMIENTO
ARQUITECTURA Y CONSTRUCCIÓN hace constar que:

SILES SÁNCHEZ BRYAN ALEXANDER

Carné: 2018-0851U Turno: Diurno Plan de Asignatura: 2015 de conformidad con el Reglamento Académico vigente en la Universidad, ha aprobado todas las asignaturas correspondientes a la carrera de INGENIERIA CIVIL, en el año 2023 y solo tiene pendiente la realización de una de las formas de culminación de estudio.

Se extiende la presente CARTA DE FINALIZADO PLAN DE ASIGNATURA, a solicitud del interesado en la ciudad de Managua, a los tres días del mes de noviembre del año dos mil veinte y cinco.



MSc. Beatriz de los Angeles Tórrez Rodríguez
SECRETARIO DE ÁREA ACADÉMICA

Teléfono (505) 83798901

IMPRESO POR SISTEMA DE REGISTRO ACADEMICO EL 03-nov-2025

Recinto Universitario Simón Bolívar,
Avenida Universitaria,
Managua, Nicaragua.

beatriz.torrez@unleu.edu.ni
www.unleu.edu.ni



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE REGISTRO ACADÉMICO

HOJA DE MATRICULA
AÑO ACADÉMICO 2025

No. Recibo		No. Inscripción 18427				
NOMBRES Y APELLIDOS: Luis Adolfo Valverde Aguilar						
CARRERA: INGENIERIA CIVIL		CARNET: 2010-35182		TURNO: Diurno		
PLAN DE ESTUDIO: 97		SEMESTRE: SEGUNDO SEMESTRE 2025		FECHA: 10/11/2025		
No.	ASIGNATURA	GRUPO	AULA	CRED.	F	R
1	ULTIMA LINEA					

F: Frecuencia de Inscripciones de Asignatura R: Retiro de Asignatura

BEATORREZ

GRABADOR

cc: ORIGINAL: ESTUDIANTE - COPIA: EXPEDIENTE.

IMPRESO POR SISTEMA DE REGISTRO ACADÉMICO EL 10-nov-2025



FIRMA Y SELLO DEL
FUNCIONARIO

FIRMA DEL
ESTUDIANTE



Secretaría Académica
DACAC

SECRETARIA DE ÁREA ACADÉMICA

F-8: CARTA DE FINALIZADO PLAN DE ASIGNATURA

El Suscrito Secretario del AREA DE CONOCIMIENTO
ARQUITECTURA Y CONSTRUCCIÓN hace constar que:

VALVERDE AGUILAR LUIS ADOLFO

Carné: 2010-35182 Turno: Diurno Plan de Asignatura: 97 de conformidad con el Reglamento Académico vigente en la Universidad, ha aprobado todas las asignaturas correspondientes a la carrera de INGENIERIA CIVIL, en el año 2016 y solo tiene pendiente la realización de una de las formas de culminación de estudio.

Se extiende la presente CARTA DE FINALIZADO PLAN DE ASIGNATURA, a solicitud del interesado en la ciudad de Managua, a los cuatro días del mes de noviembre del año dos mil veinte y cinco.

Atentamente,



MSc. Beatriz de los Angeles Tórrez Rodríguez
SECRETARIO DE ÁREA ACADÉMICA

Teléfono (505) 83798901

IMPRESO POR SISTEMA DE REGISTRO ACADEMICO EL 04-nov-2025

Recinto Universitario Simón Bolívar,
Avenida Universitaria,
Managua, Nicaragua.

beatriz.torrez@unl.edu.ni
www.unl.edu.ni



Secretaría Académica
DACAC

SECRETARIA DE ÁREA ACADÉMICA

F-8: CARTA DE FINALIZADO PLAN DE ASIGNATURA

El Suscrito Secretario del AREA DE CONOCIMIENTO
ARQUITECTURA Y CONSTRUCCIÓN hace constar que:

ZELAYA LÓPEZ VICTORIANO RAMÓN

Carné: 2019-0360N Turno: Diurno Plan de Asignatura: 2015 de conformidad con el Reglamento Académico vigente en la Universidad, ha aprobado todas las asignaturas correspondientes a la carrera de **INGENIERIA CIVIL**, en el año 2020 y solo tiene pendiente la realización de una de las formas de culminación de estudio.

Se extiende la presente CARTA DE FINALIZADO PLAN DE ASIGNATURA, a solicitud del interesado en la ciudad de Managua, a los diez días del mes de noviembre del año dos mil veinte y cinco.

Atentamente,

MSC. Beatriz de los Angeles Tórres Rodríguez
SECRETARIO DE ÁREA ACADÉMICA



Teléfono (505) 83798901

IMPRESO POR SISTEMA DE REGISTRO ACADEMICO EL 10-nov-2025

Recinto Universitario Simón Bolívar.
Avenida Universitaria.
Managua, Nicaragua.

beatriz.torrez@unl.edu.ni
www.unl.edu.ni



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE REGISTRO ACADÉMICO

HOJA DE MATRICULA
AÑO ACADEMICO 2025

No. Recibo		No. Inscripción 18431				
NOMBRES Y APELLIDOS: Victoriano Ramón Zelaya López						
CARRERA: INGENIERIA CIVIL		CARNET: 2019-0360N		TURNO: Diurno		
PLAN DE ESTUDIO: 2015		SEMESTRE: SEGUNDO SEMESTRE 2025		FECHA: 10/11/2025		
No.	ASIGNATURA	GRUPO	AULA	CRED.	F	R
1	ULTIMA LINEA					

F:Frecuencia de Inscripciones de Asignatura R: Retiro de Asignatura.

ETORRESR_WAZ

GRABADOR

cc:ORIGINAL:ESTUDIANTE - COPIA:EXPEDIENTE.

IMPRESO POR SISTEMA DE REGISTRO ACADEMICO EL 10-nov-2025

FIRMA Y SELLO DEL
FUNCIONARIO



FIRMA DEL
ESTUDIANTE